

RECOMMANDATION UIT-R S.1526-1

Méthode d'évaluation de l'environnement de brouillage relativement aux dispositions 9.12, 9.12A et 9.13 du Règlement des radiocommunications en présence de systèmes non géostationnaires du service fixe par satellite*

(Question UIT-R 231/4)

(2001-2002)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que certains systèmes non géostationnaires du service fixe par satellite (non OSG du SFS) sont à leurs premiers stades de développement et que leur conception sera donc probablement modifiée;
- b) que des modifications apportées à un système non OSG du SFS peuvent avoir des incidences sur d'autres systèmes du SFS en exploitation ou en projet;
- c) que d'autres systèmes du SFS en exploitation ou en projet et concernés par des modifications d'un système non OSG du SFS doivent conserver une souplesse d'adaptation suffisante pour être exploités dans les limites de leur notification;
- d) que la Recommandation UIT-R S.1431 décrit plusieurs techniques de réduction des brouillages permettant d'améliorer le partage entre systèmes non OSG du SFS;
- e) qu'il est souhaitable que les concepteurs de systèmes non OSG du SFS disposent de méthodes de mesure leur permettant d'évaluer l'incidence de ces diverses techniques de réduction du brouillage sur la conception des systèmes;
- f) qu'il est courant que des administrations, dans le cadre de la coordination de leurs systèmes du SFS, modifient les paramètres de leurs systèmes publiés à la suite de leurs efforts de coordination;
- g) que la disposition 11.43B du Règlement des radiocommunications (RR) et les Règles de procédure associées permettent de modifier les caractéristiques de systèmes (dont celles de systèmes non OSG du SFS) correspondant à des assignations de fréquence inscrites, tout en conservant la date primitivement inscrite dans le Fichier de référence, dans la mesure où ces modifications n'augmentent pas la probabilité de brouillage préjudiciable au détriment d'assignations déjà inscrites;
- h) que le point 2 du *décide* de la Résolution 132 (CMR-97) dispose qu'en cas de modifications, dans les bandes de fréquences 18,8-19,3 GHz et 28,6-29,1 GHz, d'assignations de fréquence à des systèmes non OSG du SFS notifiées avant le 18 novembre 1995, quand la coordination n'était pas nécessaire, aucune coordination n'est requise si les caractéristiques de l'assignation de fréquence modifiée restent dans les limites de celles de l'assignation d'origine notifiée;

* Un complément d'étude est nécessaire pour établir l'applicabilité de cette Recommandation au partage de fréquences entre systèmes non OSG du SFS et systèmes OSG du SFS (dispositions 9.12A/9.13 du RR) dans les bandes 19,3-19,7 GHz et 29,1-29,5 GHz.

- j) que les dispositions 9.12, 9.12A et 9.13 du RR s'appliquent aux bandes dont il est question dans le *considérant h*);
- k) que, pour certaines autres bandes de fréquences utilisées par des systèmes non OSG du SFS, des limites de puissance $epdf_{\downarrow}$ et $epdf_{\uparrow}$ ont été introduites dans l'Article 22 du RR pour limiter le brouillage causé aux systèmes OSG du SFS et SRS, et que le numéro 9.12 du RR s'applique aux bandes utilisées en partage par des systèmes non OSG du SFS;
- l) que la Recommandation UIT-R S.1323 fixe les niveaux de brouillage maximums admissibles causé aux réseaux du SFS qui s'appliquent dans les situations de partage du *considérant j*);
- m) qu'il est souhaitable que l'UIT-R dispose d'une méthode permettant de déterminer si des modifications apportées aux caractéristiques d'un système non OSG du SFS amélioreront ou détérioreront la situation de partage avec un autre système du SFS,

recommande

- 1 que la méthode de l'Annexe 1 soit utilisée pour aider les concepteurs de systèmes non OSG du SFS à évaluer l'incidence de diverses techniques de réduction du brouillage;
- 2 que la méthode de l'Annexe 1 soit utilisée (par les administrations et les concepteurs de systèmes) comme un moyen permettant de déterminer si une modification apportée à la conception d'un système non OSG du SFS améliorera ou détériorera l'environnement de brouillage subi par un autre système du SFS partageant la même bande de fréquences.

ANNEXE 1

Méthode d'évaluation de l'environnement de brouillage créé par un système non OSG du SFS

1 Introduction

On propose ici une procédure permettant d'évaluer de quelle manière des modifications apportées à un système non OSG du SFS (Système A) affectent l'environnement de brouillage que crée ce système et que subit un autre système du SFS (Système B). Il est reconnu que le système brouillé dispose d'une grande marge de liberté sur le plan opérationnel dans la mesure où sont respectés les paramètres notifiés du système, compte tenu des contraintes imposées par les systèmes précédemment notifiés. Afin de tirer des conclusions générales des modifications apportées à un système, la procédure ci-après doit être appliquée de manière séparée, en utilisant tous les paramètres d'émission disponibles pour les deux systèmes. De plus, les deux systèmes peuvent utiliser des stratégies de réduction du brouillage s'appuyant sur de nombreuses techniques de réduction combinées de diverses manières, afin de traiter chacun des quatre scénarios de brouillage. Les stratégies de réduction du brouillage possibles prises en considération sont l'évitement conduisant à la perte de service pendant les événements en ligne, la diversité de satellite, la diversité de site des stations terriennes, les stratégies de sélection des satellites, la répartition des fréquences en fonction des canaux, l'équilibrage des liaisons, la polarisation alternée et l'amélioration des caractéristiques des antennes. On peut résumer cette procédure par les étapes suivantes:

Etape 1: Déterminer les stratégies de réduction du brouillage que doivent adopter (par exemple, les angles d'évitement) des systèmes concernés pour se protéger du Système A (avec ses paramètres antérieurs à la modification), dans chacun des scénarios de brouillage applicables.

Etape 2: Calculer, pour l'ensemble de la zone de service du Système B, les statistiques de qualité de fonctionnement importantes (telles que la visibilité, les transferts entre satellites, le temps de poursuite d'un satellite, la disponibilité ou d'autres), en utilisant les stratégies de réduction du brouillage déterminées à l'Etape 1.

Etape 3: Répéter les Etapes 1 et 2 en remplaçant les anciens paramètres du Système A par les nouveaux.

Etape 4: Comparer les statistiques de qualité de fonctionnement du Système B avant et après les modifications apportées au Système A.

Etape 5: Si toutes les données statistiques sont meilleures, conclure que la modification du système A a facilité le partage pour le Système B.

Etape 6: Si toutes les données statistiques sont moins bonnes, conclure que la modification du Système A a rendu le partage plus difficile pour le Système B.

Etape 7: Si quelques données statistiques se sont améliorées et que d'autres se sont dégradées, il n'est pas possible de tirer de conclusions immédiates sur la situation de partage. On peut alors considérer d'autres facteurs intervenant sur la distribution des variations du brouillage pour les divers emplacements de station terrienne du Système B, par exemple l'établissement de moyennes pondérées.

Toutefois, en dernière analyse, il faudra que les parties concernées (c'est-à-dire les opérateurs des Systèmes A et B) décident, dans un accord de coordination, des détails de l'approche qu'il conviendrait d'adopter, et plus précisément des hypothèses de calcul/simulation à utiliser dans l'analyse et de l'application d'une technique d'établissement de moyenne pondérée.

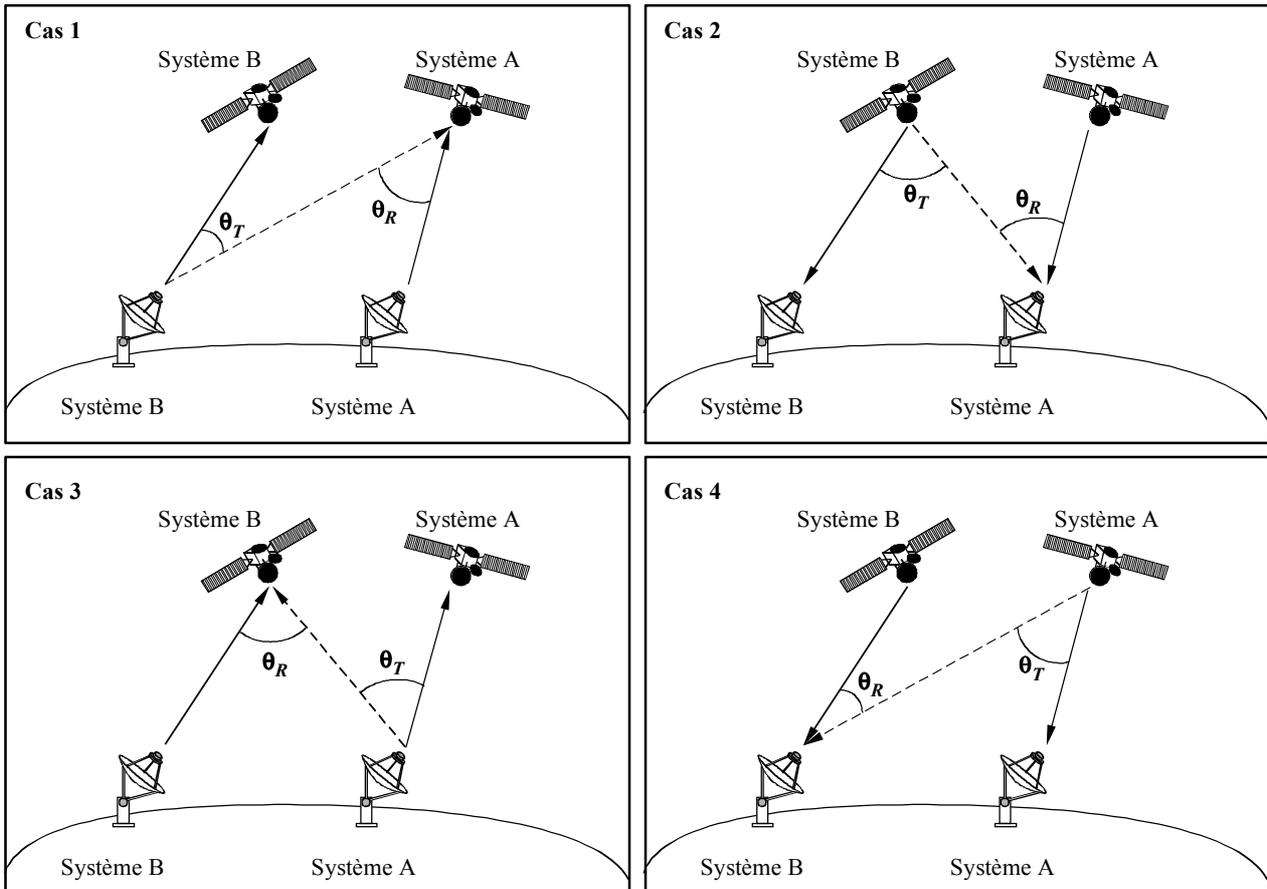
Les quatre scénarios de brouillage mentionnés ci-dessus sont décrits sur la Fig. 1 ci-après. θ_T est l'angle de discrimination en émission (c'est-à-dire l'angle hors axe entre le trajet du signal émis et le trajet du signal brouilleur), alors que θ_R est l'angle de discrimination en réception.

Des exemples d'application de la méthode y compris de statistiques caractérisant la visibilité, les transferts entre satellites, le temps de poursuite et la disponibilité d'un satellite sont donnés dans les § 2 et 3.

On peut également déduire de ces exemples de plus amples précisions sur la façon dont les statistiques de visibilité peuvent être pondérées par les chiffres de la population ou du produit intérieur brut (PIB).

Les effets des modifications apportées à un système non OSG du SFS sur le partage avec un autre système non OSG du SFS supposé utiliser la diversité de satellite sont examinés dans le § 2. Les effets de ces modifications sur le partage avec un système OSG du SFS sont traités dans le § 3.

FIGURE 1
Quatre scénarios de brouillage



1526-01

NOTE 1 – Les traits discontinus indiquent les trajets du signal brouilleur, les traits pleins indiquent les trajets du signal utile.

2 Exemple relatif au partage entre systèmes non OSG du SFS: Incidences sur le système USAMEO-1 de modifications apportées au système LEOSAT-1

On illustre ici par un exemple particulier l'application de la méthode à un cas où l'on suppose que le système USAMEO-1 utilise la technique de diversité de satellite pour réduire les brouillages, les deux systèmes s'appuyant sur la Recommandation UIT-R S.1323 pour déterminer les angles d'évitement. Les statistiques de qualité de fonctionnement choisies ici sont la visibilité, les transferts entre satellites et le temps de poursuite d'un satellite. On pourrait également considérer d'autres statistiques de qualité de fonctionnement.

Parmi d'autres exemples on pourrait citer le cas d'un système non OSG du SFS utilisant des techniques de réduction du brouillage autres que la diversité de satellite qui serait exposé à des pertes de service durant les événements en ligne. On peut alors calculer les statistiques de qualité de fonctionnement comme indiqué au § 3.3.

2.1 Paramètres du système LEOSAT-1 et hypothèses

Les caractéristiques de base modélisant le système LEOSAT-1 sont résumées dans le Tableau 1a.

TABLEAU 1a
Caractéristiques du système LEOSAT-1

Caractéristiques	LEOSAT-1
<i>Paramètres de la constellation</i>	
Nombre de satellites	288
Nombre de plans	12
Nombre de satellites par plan	24
Espacement entre plans (degrés)	15,36
Facteur de phase de Walker	Sans objet
Inclinaison (degrés)	84,7
Altitude d'orbite (km)	1 375
Déphasage inter-plan (degrés)	Aléatoire
Angle du masque d'élévation (degrés)	40
<i>Paramètres d'émission sur la liaison montante</i>	
Méthode d'accès	MF/AMRT
Largeur de bande de la porteuse (MHz)	3,096
Commande de puissance	Oui
Valeur de la commande de puissance (dB)	13,5
Gain maximum d'émission de la station terrienne (dB)	35,2
Diagramme de l'antenne d'émission de la station terrienne	Appendice 8 du RR
Diamètre de l'antenne d'émission de la station terrienne (m)	0,3
Gain maximum de réception du satellite (dB)	33,2
Diagramme de l'antenne de réception du satellite	-3 en limite de zone de couverture, -25 en lobe latéral proche, -30 en lobe latéral éloigné
Le faisceau reçu est-il adapté à une taille de cellule constante?	Oui
Température de bruit (K)	832
Nombre de faisceaux reçus	364/polarisation
<i>Paramètres d'émission sur la liaison descendante</i>	
Méthode d'accès	AMRT asynchrone
Largeur de bande de la porteuse (MHz)	500
Commande de puissance	Non
Gain maximum de réception de la station terrienne (dB)	34,1
Diagramme de l'antenne de réception de la station terrienne	Appendice 8 du RR

TABLEAU 1a (*fin*)

Caractéristiques	LEOSAT-1
<i>Paramètres d'émission sur la liaison descendante (suite)</i>	
Diamètre de l'antenne de réception de la station terrienne (m)	0,3
Gain maximum d'émission du satellite (dB)	de 34,7 à 35,7
Diagramme de l'antenne d'émission du satellite	-0,5 en limite de la zone de couverture, -25 en lobe latéral proche, -30 en lobe latéral éloigné
p.i.r.e. d'émission du satellite en limite de la zone de couverture (dB)	53,9
Le faisceau émis est-il adapté à une taille de cellule constante?	Oui
Température de bruit (K)	288
Nombre de faisceaux émis	16

AMRT: accès multiple par répartition dans le temps

MF: modulation de fréquence

p.i.r.e.: puissance isotrope rayonnée équivalente

Le Tableau 1b présente les paramètres de base du système pour deux configurations fictives du système LEOSAT-1, désignées par LEO-XX et LEO-YY. Chacune d'elle compte moins de la moitié du nombre de satellites que recense le système LEOSAT-1. Dans la configuration LEO-XX, on parvient à cette diminution du nombre de satellites par le maintien de l'angle d'élévation minimal et de la configuration quasi polaire, et par l'accroissement simultané de l'altitude à 2 500 km. Dans le cas LEO-YY, la diminution du nombre de satellites est obtenue par le maintien de la même altitude et la diminution de l'angle du masque d'élévation à 25°, ainsi que par le choix d'une configuration orbitale Delta Walker.

TABLEAU 1b

Caractéristiques des systèmes LEO-XX et LEO-YY

Caractéristiques	LEO-XX	LEO-YY
<i>Paramètres de la constellation</i>		
Nombre de satellites	128	120
Nombre de plans	8	10
Nombre de satellites par plan	16	12
Espacement entre plans (degrés)	23	36
Facteur de phase de Walker	Sans objet	1
Inclinaison (degrés)	84,7	58
Altitude d'orbite (km)	2 500	1 375
Déphasage inter-plan (degrés)	Aléatoire	3
Angle du masque d'élévation (degrés)	40	25
<i>Paramètres d'émission sur la liaison montante</i>		
Méthode d'accès	MF/AMRT	AMRF/AMRT
Largeur de bande de la porteuse (MHz)	3,1	3,1

TABLEAU 1b (*fin*)

Caractéristiques	LEO-XX	LEO-YY
<i>Paramètres d'émission sur la liaison montante (suite)</i>		
Commande de puissance	Oui	Oui
Valeur de la commande de puissance (dB)	13,5	13,5
Gain maximum d'émission de la station terrienne (dB)	39,4	39,4
Diagramme de l'antenne d'émission de la station terrienne	Appendice 8 du RR	Appendice 8 du RR
Diamètre de l'antenne d'émission de la station terrienne (m)	0,4	0,4
Gain maximum de réception du satellite (dB)	37,1 avec ajustements pour l'affaiblissement en espace libre et les pertes de balayage	36,0 avec ajustements pour l'affaiblissement en espace libre et les pertes de balayage
Diagramme de l'antenne de réception du satellite	Rec. UIT-R S.672, $L_N = -25$ dB, ouverture de faisceau = 2°	Rec. UIT-R S.672, $L_N = -25$ dB, ouverture de faisceau = $2,3^\circ$
Le faisceau reçu est-il adapté à une taille de cellule constante?	Non	Non
Température de bruit (K)	832	832
Nombre de faisceaux reçus	364/polarisation	364/polarisation
<i>Paramètres d'émission sur la liaison descendante</i>		
Méthode d'accès	AMRT asynchrone	AMRT asynchrone
Largeur de bande de la porteuse (MHz)	500	500
Commande de puissance	Non	Non
Gain maximum de réception de la station terrienne (dB)	36,6	36,6
Diagramme de l'antenne de réception de la station terrienne	Appendice 8 du RR	Appendice 8 du RR
Diamètre de l'antenne de réception de la station terrienne (m)	0,4	0,4
Gain maximum d'émission du satellite (dB)	37,2 avec ajustements pour l'affaiblissement en espace libre et les pertes de balayage	36,1 avec ajustements pour l'affaiblissement en espace libre et les pertes de balayage
Diagramme de l'antenne d'émission du satellite	Rec. UIT-R S.672, $L_N = -25$ dB, largeur de bande = 2°	Rec. UIT-R S.672, $L_N = -25$ dB, largeur de bande = $2,3^\circ$
p.i.r.e. d'émission du satellite en limite de la zone de couverture (dB)	57,7	54,6
Le faisceau émis est-il adapté à une taille de cellule constante?	Non	Non
Température de bruit (K)	288	288
Nombre de faisceaux émis	16	16

AMRF: accès multiple par répartition en fréquence

2.2 Paramètres du système USAMEO-1 et hypothèses

2.2.1 Caractéristiques de base

Dans cet exemple, on a sélectionné à des fins d'analyse une liaison particulière du système USAMEO-1. Le Tableau 2 synthétise les caractéristiques de base de ce modèle.

TABLEAU 2
Caractéristiques du système USAMEO-1

<i>Paramètres de la constellation</i>	
Nombre de satellites	32
Nombre de plans (pour chacune des 2 sous-constellations)	4 (\times 2 sous-constellations)
Nombre de satellites par plan	4
Espacement entre plans (degrés)	90
Facteur de phase de Walker	3
Inclinaison (degrés)	50
Altitude d'orbite (km)	10 352
Déphasage inter-plan (degrés)	67,5
Phase Delta entre les sous-constellations (degrés)	30
Noeud ascendant Delta entre les sous-constellations (degrés)	0
Angle du masque d'élévation (degrés)	20
<i>Paramètres d'émission sur la liaison montante</i>	
Méthode d'accès	AMRT/AMRF
Largeur de bande de la porteuse (MHz)	0,562
Commande de puissance	Oui
Valeur de la commande de puissance (dB)	20,7
Gain maximum d'émission de la station terrienne (dB)	44,16
Diagramme de l'antenne d'émission de la station terrienne	Rec. UIT-R S.465
Diamètre de l'antenne d'émission de la station terrienne (m)	0,65
Gain maximum de réception du satellite (dB)	37,48
Diagramme de l'antenne de réception du satellite	Rec. UIT-R S.672, ouverture de faisceau = $2,3^\circ$, $L_N = -25$ dB
Le faisceau reçu est-il adapté à une taille de cellule constante?	Non
Température de bruit (K)	577,98
Nombre de faisceaux reçus	20
<i>Paramètres d'émission sur la liaison descendante</i>	
Méthode d'accès	MRT/MRF
Largeur de bande de la porteuse (MHz)	96,162
Commande de puissance	Non
Gain maximum de réception de la station terrienne (dB)	40,78

TABLEAU 2 (fin)

<i>Paramètres d'émission sur la liaison descendante (suite)</i>	
Diagramme de l'antenne de réception de la station terrienne	Rec. UIT-R S.465
Diamètre de l'antenne de réception de la station terrienne (m)	0,65
Gain maximum d'émission du satellite (dB)	37,5
Diagramme de l'antenne d'émission du satellite	(identique à celui relatif à la liaison montante)
p.i.r.e. d'émission du satellite en limite de la zone de couverture (dB)	52,3
Le faisceau émis est-il adapté à une taille de cellule constante?	Non
Température de bruit (K)	249,41
Nombre de faisceaux émis	20

MRT: multiplexage par répartition dans le temps

MRF: multiplexage par répartition en fréquence

2.2.2 Utilisation des fréquences

Pour le système USAMEO-1, on se propose d'utiliser 1 GHz de spectre dans les bandes 28,6-29,1 GHz et 29,5-30,0 GHz sur la liaison montante, et 1 GHz de spectre dans les bandes 18,8-19,3 GHz et 19,7-20,2 GHz sur la liaison descendante. Les bandes de fréquences sont divisées en canaux de 125 MHz. On suppose qu'il est possible d'assigner plusieurs canaux au même faisceau étroit dans le cas le plus défavorable de pointe de trafic, afin de couvrir le chevauchement de 500 MHz avec le spectre de LEOSAT-1 (XX, YY).

2.2.3 Modèle d'antenne de satellite et de station terrienne

Le satellite utilise des faisceaux étroits fixes d'émission et de réception. Les antennes et les faisceaux sont maintenus dans une direction fixe par rapport au satellite, afin de permettre un balayage de la surface de la Terre par les faisceaux à mesure que se déplace le satellite. Même si les faisceaux restent fixes par rapport au satellite, la simulation utilise des faisceaux de poursuite pour chaque station terrienne, de façon que soit pris en compte le cas de brouillage le plus défavorable. L'antenne du satellite est modélisée suivant les indications de la Recommandation UIT-R S.672, avec une ouverture de faisceau à mi-puissance de $2,3^\circ$ et un niveau de lobe latéral de -25 dB.

On modélise 20 stations d'utilisateurs dans l'empreinte pour le cas de brouillages sur la liaison montante. La distance de séparation entre les stations terriennes est d'environ 728 km.

On calcule les brouillages sur la liaison descendante en utilisant une distribution aléatoire des positions des stations terriennes dans chaque empreinte du satellite. Ces positions sont distribuées aléatoirement à chaque itération de la simulation. Le nombre de stations distribuées correspond au nombre maximum de faisceaux sur la liaison descendante que peut supporter le satellite. Dans le cas où le satellite est choisi pour desservir l'emplacement considéré aux fins de calcul des brouillages (par exemple, le satellite ayant l'élévation la plus élevée), on assigne à cet emplacement une position de station terrienne.

L'antenne de la station terrienne est modélisée suivant les indications de la Recommandation UIT-R S.465, qui présente un niveau de lobe latéral de $32 - 25 \log_{10}(\varphi)$, où φ est l'angle de dépointage (degrés).

2.2.4 Hypothèses relatives au bilan de liaison et aux dégradations dues à la pluie

Le bilan de liaison présenté dans le Tableau 3 s'applique au modèle du système USAMEO-1.

TABLEAU 3

Bilan de liaison du système USAMEO-1

Elévation minimale (degrés)	20	
Distance oblique (km)	13 438,27	
	<i>Liaison montante</i>	<i>Liaison descendante</i>
Fréquence (GHz)	28,85	19,05
Largeur de bande (MHz)	0,56	96,16
Espacement des canaux (MHz)	0,69	125,00
Réduction/pertes de puissance (dBW)	7,07	14,82
Gain à l'émission (dB)	44,16	37,50
<i>p.i.r.e. (dBW)</i>	<i>51,23</i>	<i>52,32</i>
Pertes par pointage à l'émission (dB)	0,65	0,50
Affaiblissement en espace libre (dB)	204,22	200,61
Affaiblissement dû à l'atmosphère (dB)	1,57	2,10
<i>Perte totale de propagation (dB)</i>	<i>206,44</i>	<i>203,21</i>
Température du système (K)	577,98	249,41
Gain à la réception (dB)	37,48	40,78
Pertes à la réception (dB)	0,98	0,50
Pertes en bord de faisceau (dB)	4,10	4,10
<i>G/T (dB/K)</i>	<i>4,78</i>	<i>12,21</i>
<i>Porteuse de réception (C) (dBW)</i>	<i>-122,81</i>	<i>-114,71</i>
<i>N (dBW)</i>	<i>-143,48</i>	<i>-124,80</i>
<i>C/N (dB)</i>	<i>20,67</i>	<i>10,09</i>
Dégradation due à l'autobrouillage (dB)	8,21	1,13
<i>C/(N + I) requis (dB)</i>	<i>12,05</i>	<i>8,8</i>
Marge (dB)	0,41	0,16

La dégradation due à l'autobrouillage ($C/N - C/(N + I_s)$) est fondée sur le rapport $C/I_s = 13,17$ dB pour la liaison montante et 15,34 dB pour la liaison descendante, I_s représentant l'autobrouillage. Cette valeur de la dégradation due à l'autobrouillage est appliquée aux valeurs de la dégradation due aux brouillages externes $(1 + I_x/N)$ calculées à partir des valeurs de brouillage recueillies durant les simulations (I_x représente les brouillages externes). Cela est nécessaire parce que la distribution I/N utilisée dans la méthode de convolution de la Recommandation UIT-R S.1323 doit se fonder sur $I_x/(N + I_s)$ plutôt que sur I_x/N ($N = N_{thermal}$).

D'après les bilans de liaison fournis par les applications de la FCC, la marge externe sur la liaison montante est de 0,41 dB par ciel clair et de 1,2 dB par temps de pluie (pertes dues à la pluie = 7,2 dB), en utilisant un code adaptatif. De plus, le rapport C/I_s en présence d'évanouissements dus à la pluie est égal à 9,77 dB, ce qui est inférieur à la valeur de 13,17 par ciel clair. Cette valeur de C/I en présence d'évanouissements dus à la pluie s'explique par le fait que la porteuse utile et l'ensemble des brouillages subissent des types d'évanouissements différents. Le paramètre δ , fraction de I sans évanouissements, défini dans l'Annexe 2 traite cet effet. Pour cette liaison, $\delta = 0,28$. On considère en fait que la liaison montante est susceptible de supporter 7,2 dB d'évanouissements dus à la pluie avant que la liaison ne commence à se détériorer, avec une marge de 1,2 dB. Cette valeur d'évanouissements dus à la pluie correspond à $X = 4,24$ dB, ce qui définit l'impulsion au centre de la fonction de densité de probabilité pour X' (X' étant la dégradation due à la pluie qui tient compte de la commande de puissance, voir l'Annexe 2).

Pour la liaison descendante, la marge externe est de 0,16 dB par ciel clair et de 1,1 dB par temps de pluie (pertes dues à la pluie = 3,3 dB), en utilisant à nouveau le codage adaptatif. On considère que la liaison descendante est à même de supporter 3,3 dB d'évanouissements dus à la pluie avant que la liaison ne commence à se détériorer, avec une marge de 1,1 dB. Cette valeur d'évanouissements dus à la pluie correspond à $X = 4,46$; elle est utilisée pour déterminer la valeur de l'impulsion à l'origine de la fonction de densité de probabilité de X' (voir l'Annexe 2).

Le Tableau 4 résume les hypothèses formulées pour générer la fonction de densité de probabilité de la dégradation due à la pluie. On convolue les fonctions de densité de probabilité de dégradation due à la pluie et de dégradation due aux brouillages pour déterminer si les brouillages se situent ou non à un niveau acceptable. Le paramètre α représente le pourcentage d'augmentation du bruit dû à l'autobrouillage ($I_s/N + I_s$); il est utilisé pour lier la dégradation due à la pluie aux évanouissements dus à la pluie, à partir du modèle de pluie indiqué.

TABLEAU 4

Hypothèses formulées pour la génération de la fonction de densité de probabilité relative à la dégradation due à la pluie

Direction de la liaison	α	Début de la détérioration de la liaison		Marge (dB)	Localisation de la liaison
		Evanouissements dus à la pluie (dB)	Dégradation due à la pluie (dB)		
Montante	0,85	7,2	4,24	1,2	New York
Descendante	0,23	3,3	4,46	1,1	New York

2.3 Résultats de la simulation

Des simulations séparées ont été effectuées pour le système USAMEO-1 exploité avec chacun des systèmes suivants:

- LEOSAT-1 (288 satellites, constellation polaire, élévation minimale de 40°).
- LEO-XX (128 satellites, constellation polaire, élévation minimale de 40°).
- LEO-YY (120 satellites, constellation Delta Walker, élévation minimale de 25°).

Pour chaque jeu de simulations, on a recueilli les données correspondant aux quatre cas de brouillage. On trouvera dans le Tableau 5 la définition de chacun de ces cas.

TABLEAU 5

Définition des cas de brouillage

Cas	Direction de la liaison	Rôle du système USAMEO-1
1	Montante	Brouilleur
2	Descendante	Brouilleur
3	Montante	Système utile
4	Descendante	Système utile

Sauf indication contraire, les simulations ont été conduites durant deux jours, avec des intervalles de 1 s (172 800 itérations). On a supposé que plusieurs satellites couvraient chaque emplacement, lorsque cette couverture était possible. Pour les simulations de brouillage et de capacité de couverture (visibilité), les positions des constellations des deux systèmes ont été déterminées aléatoirement à chaque itération. Dans le cas des simulations de transferts entre satellites et de temps de poursuite d'un satellite, on a simulé une propagation continue des constellations toutes les secondes.

Chaque courbe ci-dessous indique les fonctions de distribution cumulative (cdf, *cumulative distribution function*) $I_x/(N+I_s)$ pour divers angles d'évitement, ainsi que les résultats correspondants relatifs à la convolution des fonctions de densité de probabilité de dégradation due à la pluie et de dégradation due aux brouillages. On a effectué plusieurs passes de simulation pour déterminer l'angle d'évitement nécessaire pour satisfaire aux critères de la Recommandation UIT-R S.1323, en supposant que 10% des interruptions de liaison étaient consécutifs aux brouillages externes.

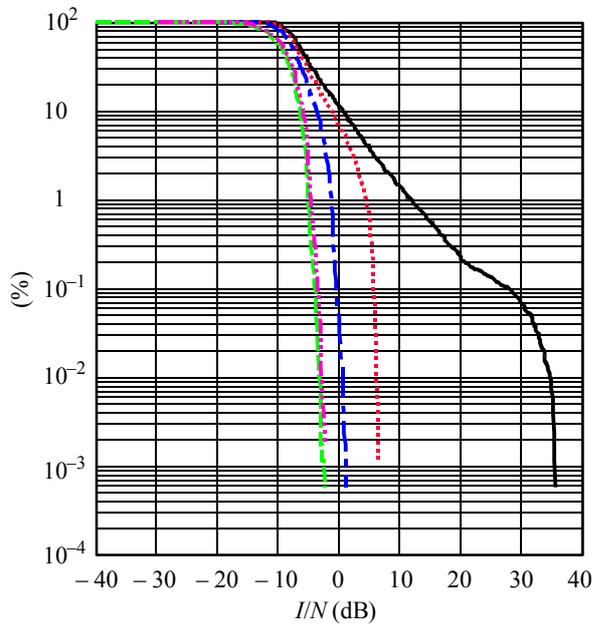
2.3.1 Résultats relatifs au système USAMEO-1 dans l'environnement de brouillage créé par le système LEOSAT-1

Puisque le système visant à la réduction des brouillages est en orbite moyenne (MEO) et que l'autre système est en orbite basse (LEO), il convient, pour fournir les protections nécessaires, d'utiliser un angle d'évitement fondé sur une station spatiale dans les cas 2 et 3, ou sur une station terrienne, dans les cas 1 et 4. Les valeurs angulaires indiquées sur les Fig. 2 et 3 correspondent respectivement à des angles fondés sur une station spatiale ou une station terrienne.

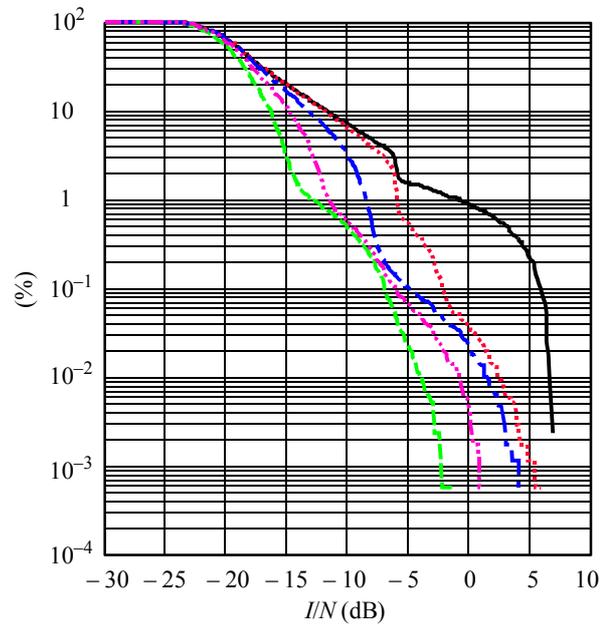
Afin de se protéger dans les quatre cas de brouillage, le système visant à la réduction des brouillages doit utiliser un angle d'évitement fondé sur une station terrienne de $16,0^\circ$, et un angle d'évitement fondé sur une station spatiale de $0,5^\circ$.

Les incidences sur le système cherchant à réduire les brouillages sont indiquées sur la Fig. 4 – courbe relative à la visibilité (c'est-à-dire nombre de satellites utilisables répondant aux critères de masque d'élévation et de réduction des brouillages) et sur la Fig. 5 – courbes relatives aux transferts entre satellites (connexions) en fonction des nouveaux satellites, et la station terrienne moyenne en fonction du temps de poursuite d'un satellite (temps de poursuite) d'un faisceau pointé sur un satellite.

FIGURE 2
 cdf de I/N , système USAMEO-1 dans l'environnement de
 brouillage créé par le système LEOSAT-1 sur les liaisons montante et descendante



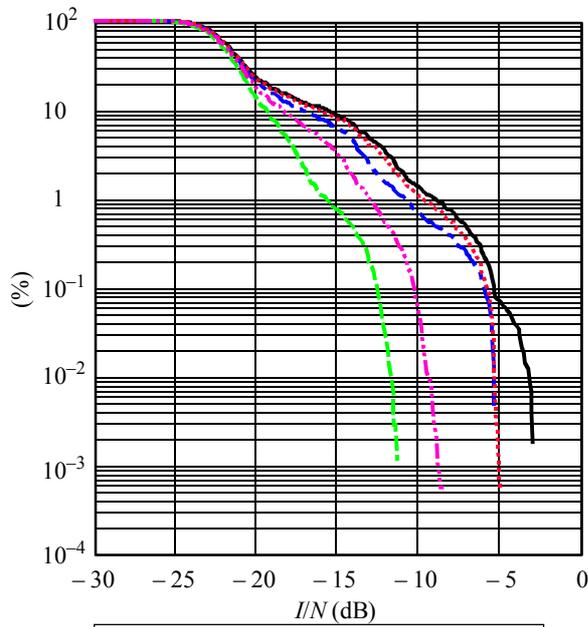
Seuil = 0,0854 %	
Angle d'évitement	$P(z > 2,0 \text{ dB})$
— 0,0°	18,96440% d'échec
⋯ 5,0°	13,71494% d'échec
- - 10,0°	4,37449% d'échec
- · - 15,0°	0,08597% d'échec
- - - 16,0°	0,08356% de réussite



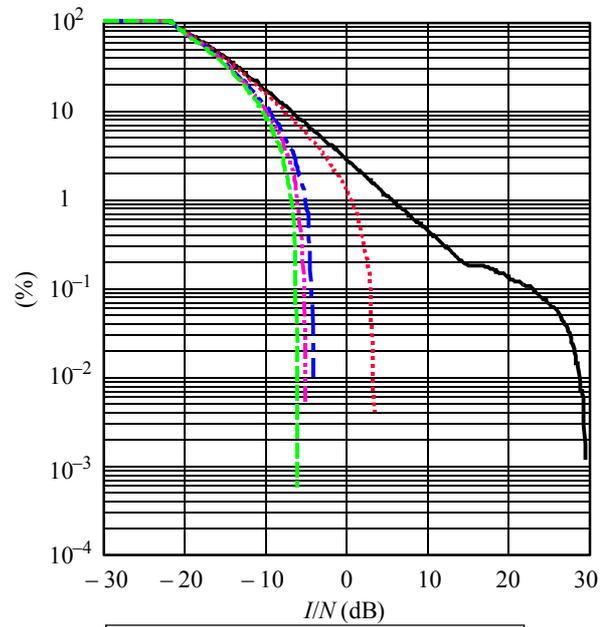
Seuil = 0,041285 %	
Angle d'évitement	$P(z > 9,7 \text{ dB})$
— 0,0°	0,03958% de réussite
⋯ 0,5°	0,03825% de réussite
- - 1,0°	0,03793% de réussite
- · - 1,5°	0,03773% de réussite
- - - 2,0°	0,03760% de réussite

FIGURE 3

cdf de I/N , système LEOSAT-1 dans l'environnement de brouillage créé par le système USAMEO-1 sur les liaisons montante et descendante



Seuil = 0,14334%	
Angle d'évitement	$P(z > 1,2 \text{ dB})$
— 0,0°	0,20289% d'échec
⋯ 0,5°	0,13230% de réussite
- - 1,0°	0,13036% de réussite
- · - 1,5°	0,13005% de réussite
- - - 2,0°	0,12985% de réussite



Seuil = 0,13713%	
Angle d'évitement	$P(z > 1,1 \text{ dB})$
— 0,0°	7,88489% d'échec
⋯ 5,0°	6,32956% d'échec
- - 10,0°	1,68909% d'échec
- · - 11,0°	0,45743% d'échec
- - - 12,0°	0,12982% de réussite

FIGURE 4

Incidences de la réduction des brouillages causés par le système LEOSAT-1 sur la visibilité du système USAMEO-1

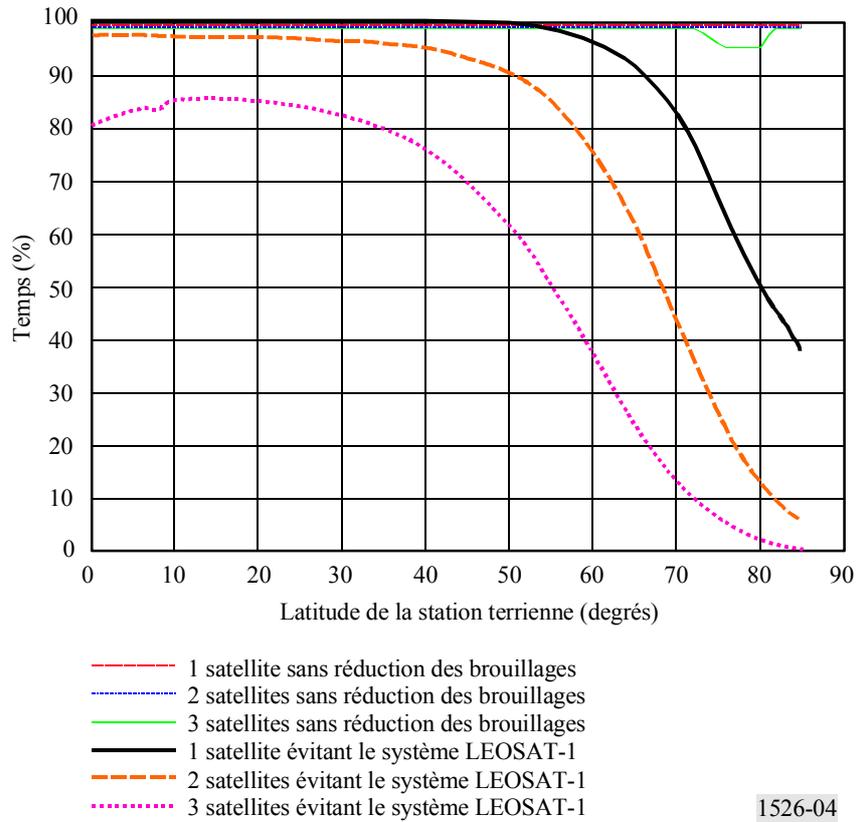
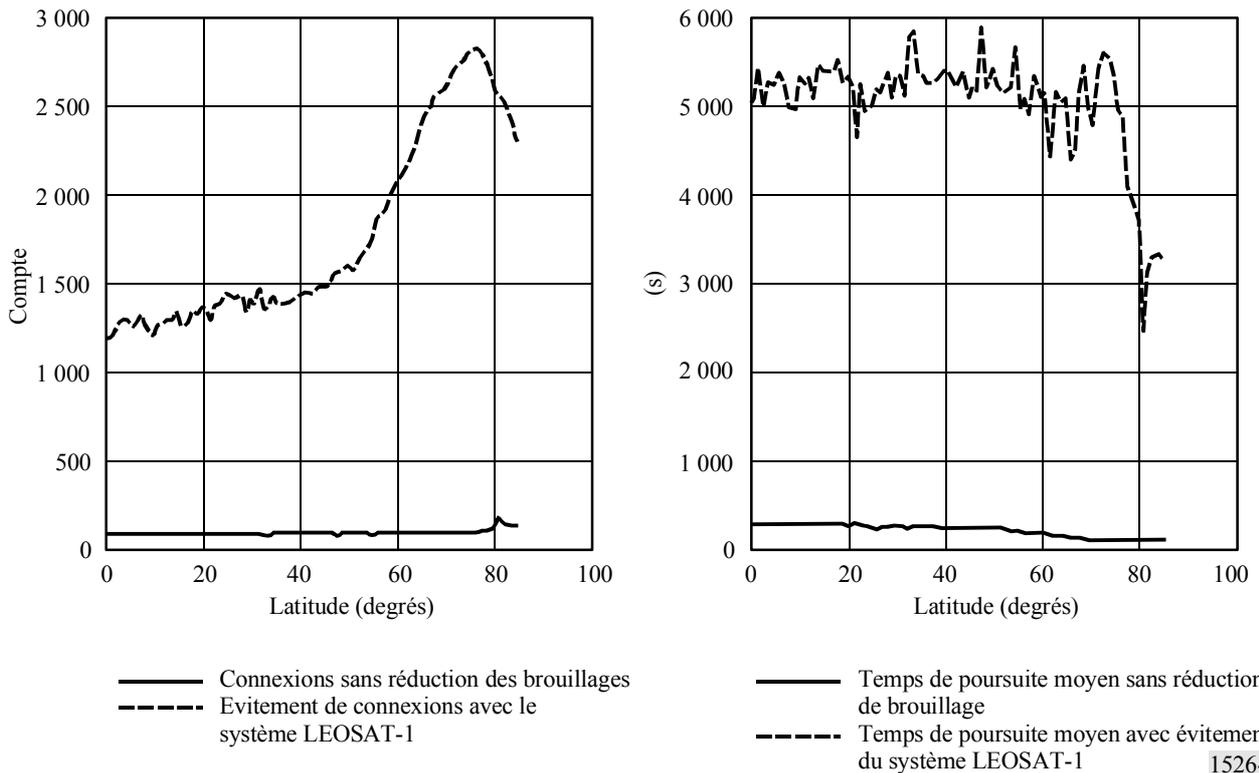


FIGURE 5

Incidences de la réduction des brouillages causés par le système LEOSAT-1 sur les transferts entre satellites et le temps de poursuite moyen d'un satellite relatifs au système USAMEO-1



Les Tableaux 6 et 7 montrent les effets de la pondération des statistiques de visibilité par la distribution de population et de PIB (d'après les estimations de 1999). Toutefois, en dernière analyse, il faudrait que les parties concernées (c'est-à-dire les opérateurs des Systèmes A et B) se mettent d'accord, dans un accord de coordination, sur la technique d'établissement de la moyenne pondérée à utiliser.

TABLEAU 6

Pourcentage de la population mondiale bénéficiant d'un niveau de couverture correspondant au centile indiqué, avec évitement du système LEOSAT-1

Centile	Couverture sans réduction des brouillages			Couverture avec réduction des brouillages		
	1X	2X	3X	1X	2X	3X
100	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
99	100,00	100,00	100,00	94,99	0,00	0,00
95	100,00	100,00	100,00	99,71	79,95	0,00
90	100,00	100,00	100,00	99,89	93,81	0,00
80	100,00	100,00	100,00	99,99	99,01	67,57
50	100,00	100,00	100,00	100,00	99,94	98,22

TABLEAU 7

Pourcentage du PIB mondial bénéficiant d'un niveau de couverture correspondant au centile indiqué, avec évitement du système LEOSAT-1

Centile	Couverture sans réduction des brouillages			Couverture avec réduction des brouillages		
	1X	2X	3X	1X	2X	3X
100	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
99	100,00	100,00	100,00	88,06	0,00	0,00
95	100,00	100,00	100,00	99,37	52,44	0,00
90	100,00	100,00	100,00	99,83	84,36	0,00
80	100,00	100,00	100,00	99,99	97,89	28,96
50	100,00	100,00	100,00	100,00	99,91	96,73

2.3.2 Résultats relatifs au système USAMEO-1 dans l'environnement de brouillage créé par le système LEO-XX

Puisque, comme pour le système LEOSAT-1, le système visant à la réduction des brouillages est en MEO et que l'autre système est en LEO, il convient, pour fournir les protections nécessaires, d'utiliser un angle d'évitement fondé sur une station spatiale dans les cas 2 et 3, ou sur une station terrienne, dans les cas 1 et 4. Les valeurs angulaires indiquées sur les Fig. 6 et 7 correspondent respectivement à des angles fondés sur une station spatiale ou une station terrienne.

Afin de se protéger dans les quatre cas de brouillage, le système visant à la réduction des brouillages doit utiliser un angle d'évitement fondé sur une station terrienne de 13,0° et un angle d'évitement fondé sur une station spatiale de 0,5°.

FIGURE 6
cdf de I/N , système USAMEO-1 dans l'environnement de brouillage créé par le système LEO-XX sur les liaisons montante et descendante

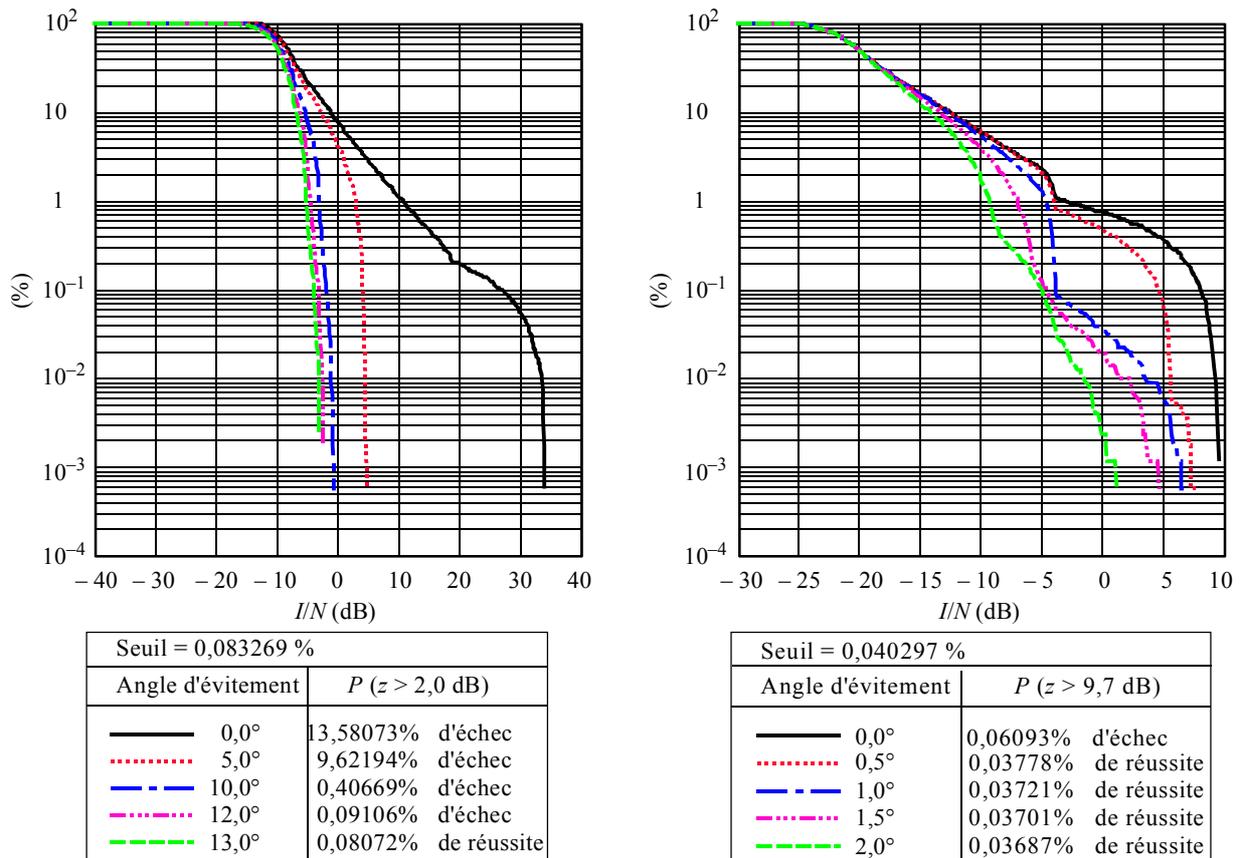
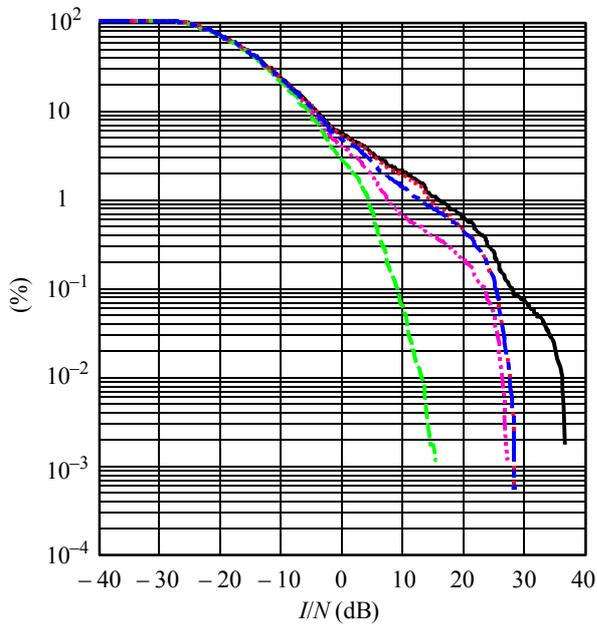
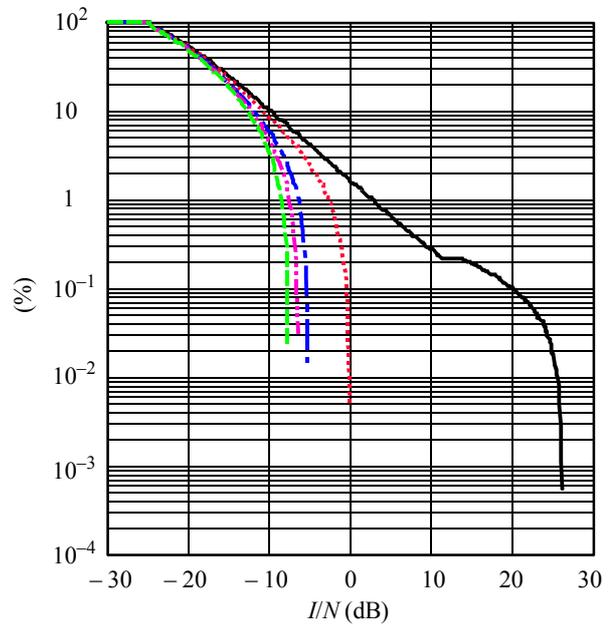


FIGURE 7
 cdf de I/N , système LEO-XX dans l'environnement de brouillage créé
 par le système USAMEO-1 sur les liaisons montante et descendante



Seuil = 0,14334 %	
Angle d'évitement	$P(z > 1,2 \text{ dB})$
— 0,0°	0,20050% d'échec
⋯ 0,5°	0,12939% de réussite
- - 1,0°	0,12935% de réussite
⋯ 1,5°	0,12927% de réussite
- - 2,0°	0,12918% de réussite



Seuil = 0,13713 %	
Angle d'évitement	$P(z > 1,1 \text{ dB})$
— 0,0°	4,82810% d'échec
⋯ 5,0°	3,09127% d'échec
- - 8,0°	0,34125% d'échec
⋯ 9,0°	0,12752% de réussite
- - 10,0°	0,12705% de réussite

Les incidences sur le système cherchant à réduire les brouillages sont indiquées sur la Fig. 8 – courbe relative à la visibilité (c'est-à-dire nombre de satellites utilisables répondant aux critères de masque d'élévation et de réduction des brouillages) et sur la Fig. 9 – courbes relatives aux transferts entre satellites (connexions) en fonction des nouveaux satellites, et la station terrienne moyenne en fonction du temps de poursuite d'un satellite (temps de poursuite) d'un faisceau pointé sur un satellite.

FIGURE 8
**Incidences de la réduction des brouillages causés par le système LEO-XX
sur la visibilité du système USAMEO-1**

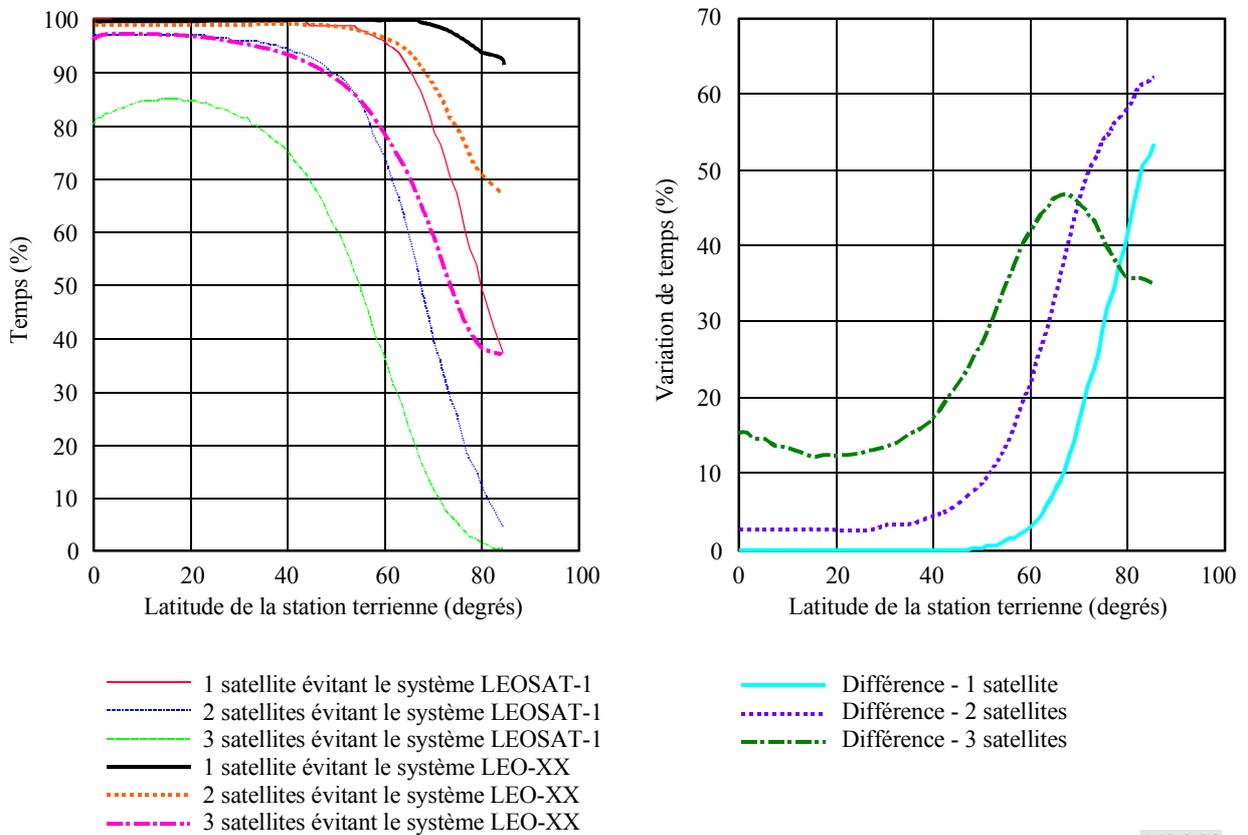
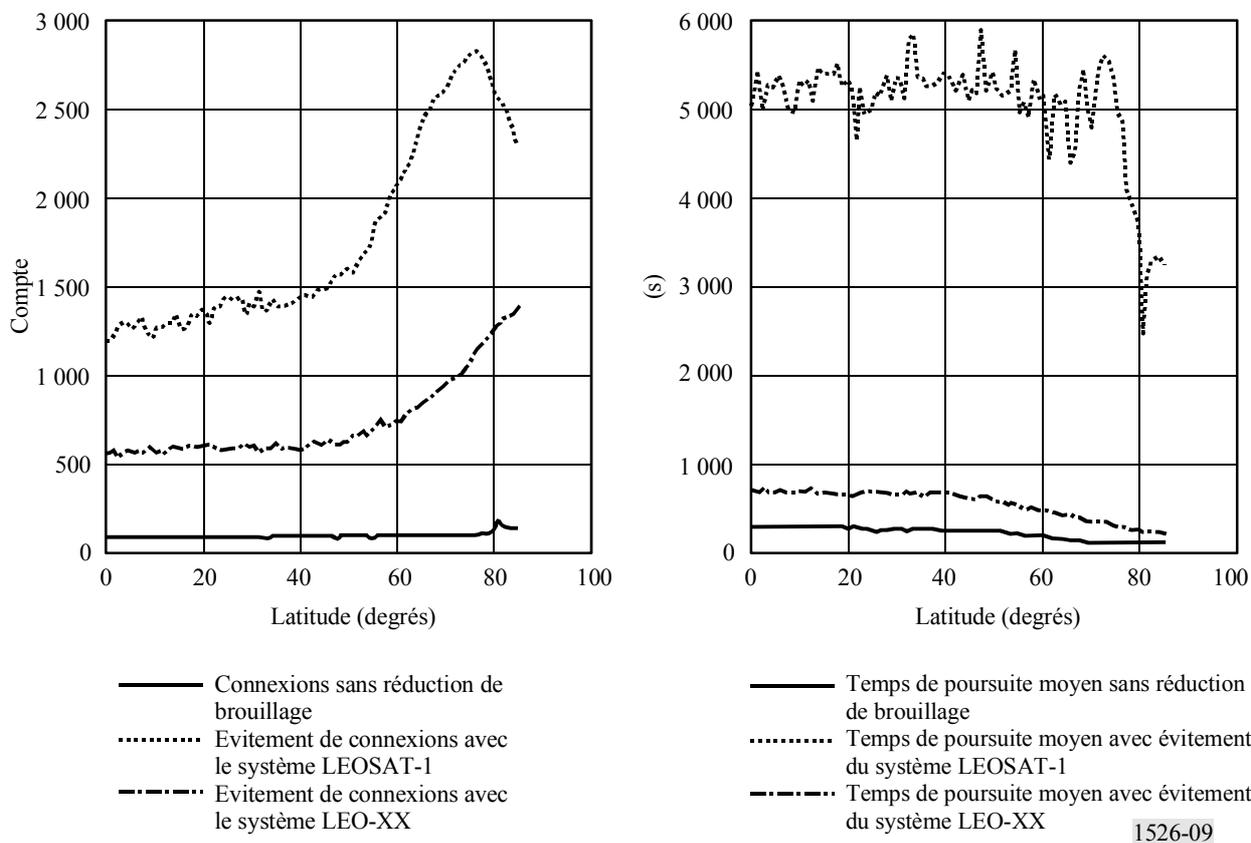


FIGURE 9

Incidences de la réduction des brouillages causés par le système LEO-XX sur les transferts entre satellites et le temps de poursuite moyen d'un satellite relatifs au système USAMEO-1



Les Tableaux 8 et 9 montrent les effets de la pondération des statistiques de visibilité par la distribution de population et de PIB (d'après les estimations de 1999).

TABLEAU 8

Pourcentage de la population mondiale bénéficiant d'un niveau de couverture correspondant au centile indiqué, avec évitement du système LEO-XX

Centile	Couverture			Modifications par rapport à la couverture du système LEOSAT-1		
	1X	2X	3X	1X	2X	3X
100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
99	99,98	85,47	0,00	4,99	85,47	0,00
95	100,00	99,82	61,87	0,29	19,87	61,87
90	100,00	99,96	90,79	0,11	6,15	90,79
80	100,00	100,00	99,39	0,01	0,99	31,83
50	100,00	100,00	100,00	0,00	0,06	1,78

TABLEAU 9

Pourcentage du PIB mondial bénéficiant d'un niveau de couverture correspondant au centile indiqué, avec évitement du système LEO-XX

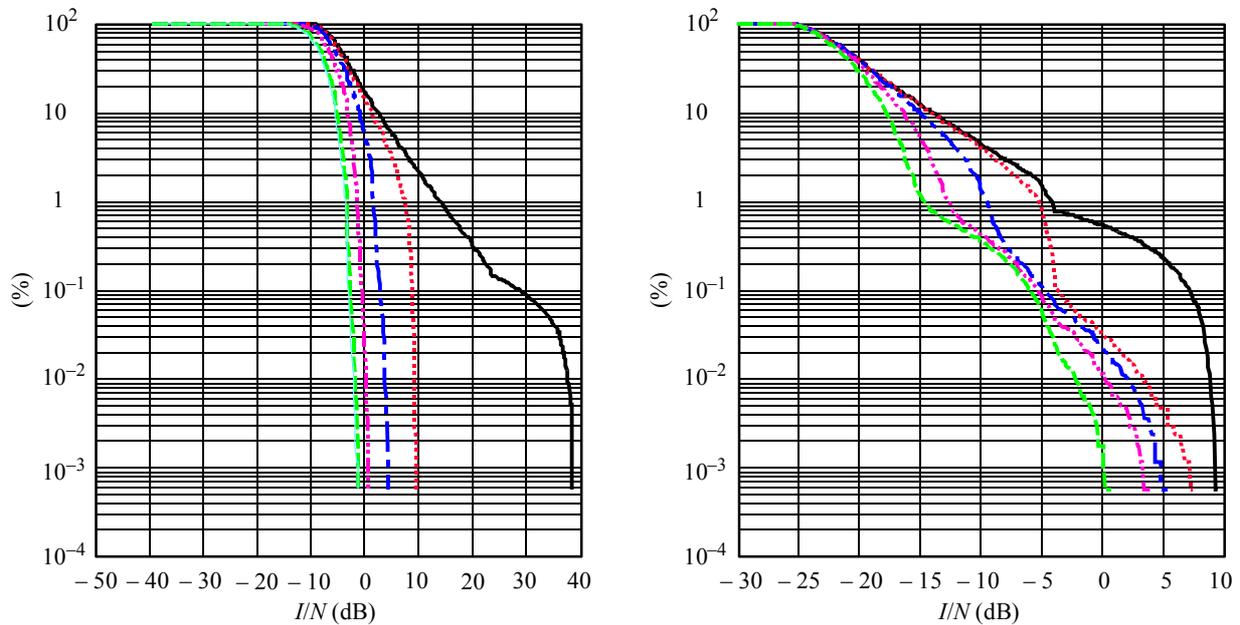
Centile	Couverture			Modifications par rapport à la couverture du système LEOSAT-1		
	1X	2X	3X	1X	2X	3X
100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
99	99,97	64,36	0,00	11,92	64,36	0,00
95	100,00	99,67	20,39	0,63	47,23	20,39
90	100,00	99,94	76,54	0,17	15,58	76,54
80	100,00	100,00	98,58	0,01	2,11	69,62
50	100,00	100,00	100,00	0,00	0,09	3,27

2.3.3 Résultats relatifs au système USAMEO-1 dans l'environnement de brouillage créé par le système LEO-YY

Une fois encore, puisque le système visant à la réduction des brouillages est en MEO et que l'autre système est en LEO, il convient, pour fournir les protections nécessaires, d'utiliser un angle d'évitement fondé sur une station spatiale dans les cas 2 et 3, ou sur une station terrienne, dans les cas 1 et 4. Les valeurs angulaires indiquées sur les Fig. 10 et 11 correspondent respectivement à des angles fondés sur une station spatiale ou une station terrienne.

FIGURE 10

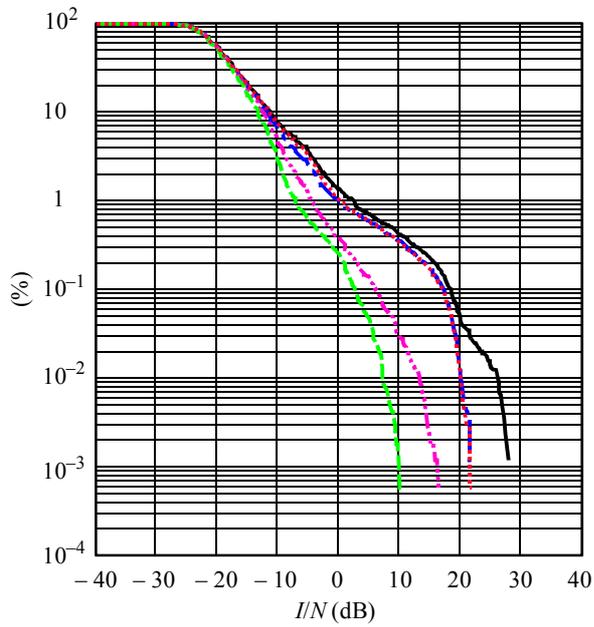
cdf de I/N, système USAMEO-1 dans l'environnement de brouillage créé par le système LEO-YY sur les liaisons montante et descendante



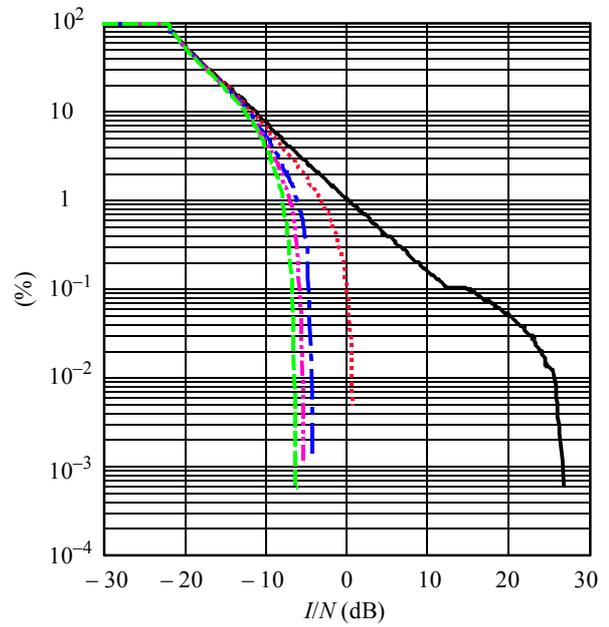
Seuil = 0,11446%		
Angle d'évitement	$P(z > 2,0 \text{ dB})$	
— 0,0°	26,56498%	d'échec
... 5,0°	22,77406%	d'échec
- - 10,0°	14,65915%	d'échec
- · - 15,0°	2,03578%	d'échec
- - - 20,0°	0,12146%	d'échec
- - - 21,0°	0,11427%	de réussite

Seuil = 0,054603%		
Angle d'évitement	$P(z > 9,7 \text{ dB})$	
— 0,0°	0,06057%	d'échec
... 0,5°	0,05015%	de réussite
- - 1,0°	0,04983%	de réussite
- · - 1,5°	0,04965%	de réussite
- - - 2,0°	0,04954%	de réussite

FIGURE 11
 cdf de I/N , système LEO-YY dans l'environnement de brouillage créé
 par le système USAMEO-1 sur les liaisons montante et descendante



Seuil = 0,14334 %	
Angle d'évitement	$P(z > 1,2 \text{ dB})$
— 0,0°	0,12912% de réussite
⋯ 0,5°	0,12910% de réussite
- - 1,0°	0,12909% de réussite
- · - 1,5°	0,12905% de réussite
- - - 2,0°	0,12904% de réussite



Seuil = 0,13713 %	
Angle d'évitement	$P(z > 1,1 \text{ dB})$
— 0,0°	3,29509% d'échec
⋯ 5,0°	2,38887% d'échec
- - 8,0°	0,85961% d'échec
- · - 9,0°	0,18050% d'échec
- - - 10,0°	0,12759% de réussite

Afin de se protéger dans les quatre cas de brouillage, le système visant à la réduction des brouillages doit utiliser un angle d'évitement fondé sur une station terrienne de 21,0° et un angle d'évitement fondé sur une station spatiale de 0,5°.

Les incidences sur le système cherchant à réduire les brouillages sont indiquées sur la Fig. 12 – courbe relative à la visibilité (c'est-à-dire nombre de satellites utilisables répondant aux critères de masque d'élévation et de réduction des brouillages) et sur la Fig. 13 – courbes relatives aux transferts entre satellites (connexions) en fonction des nouveaux satellites, et la station terrienne moyenne en fonction du temps de poursuite d'un satellite (temps de poursuite) d'un faisceau pointé sur un satellite.

FIGURE 12
**Incidences de la réduction des brouillages causés par le système LEO-YY
 sur la visibilité du système USAMEO-1**

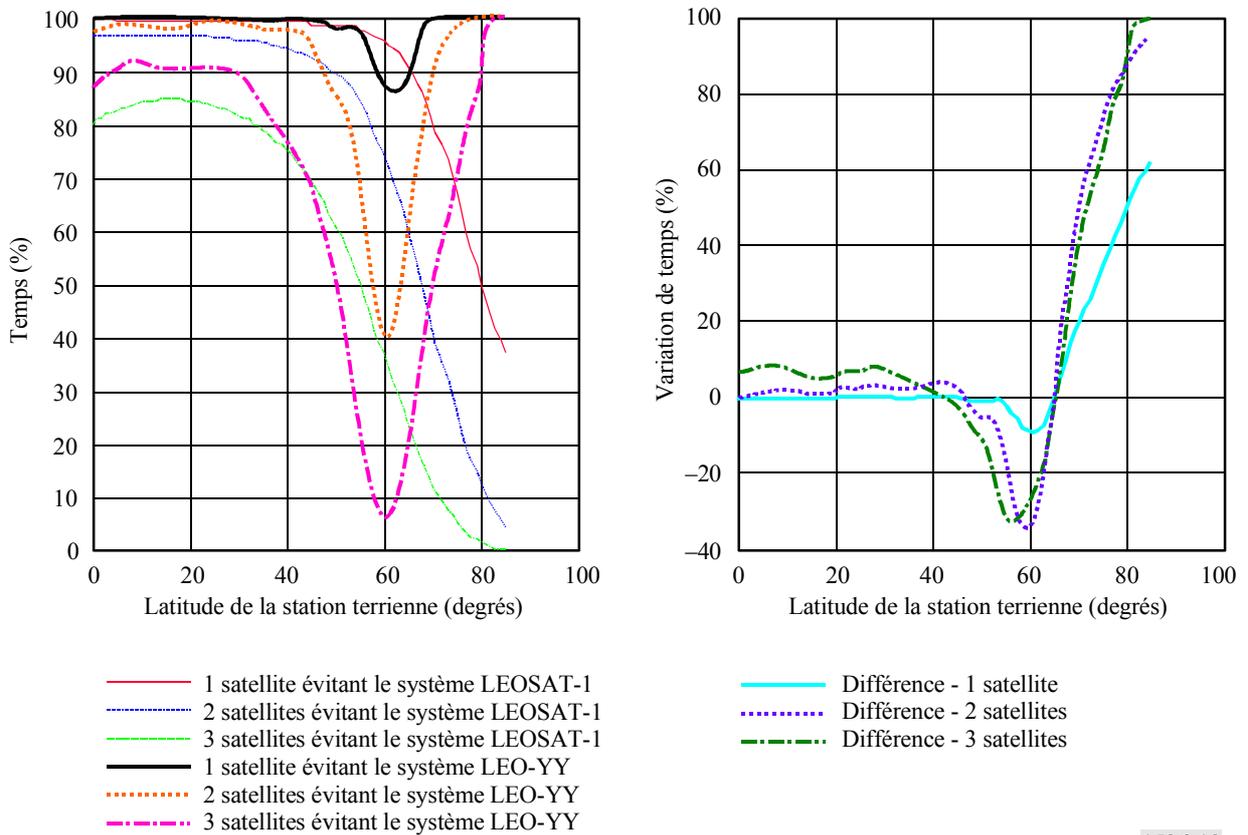
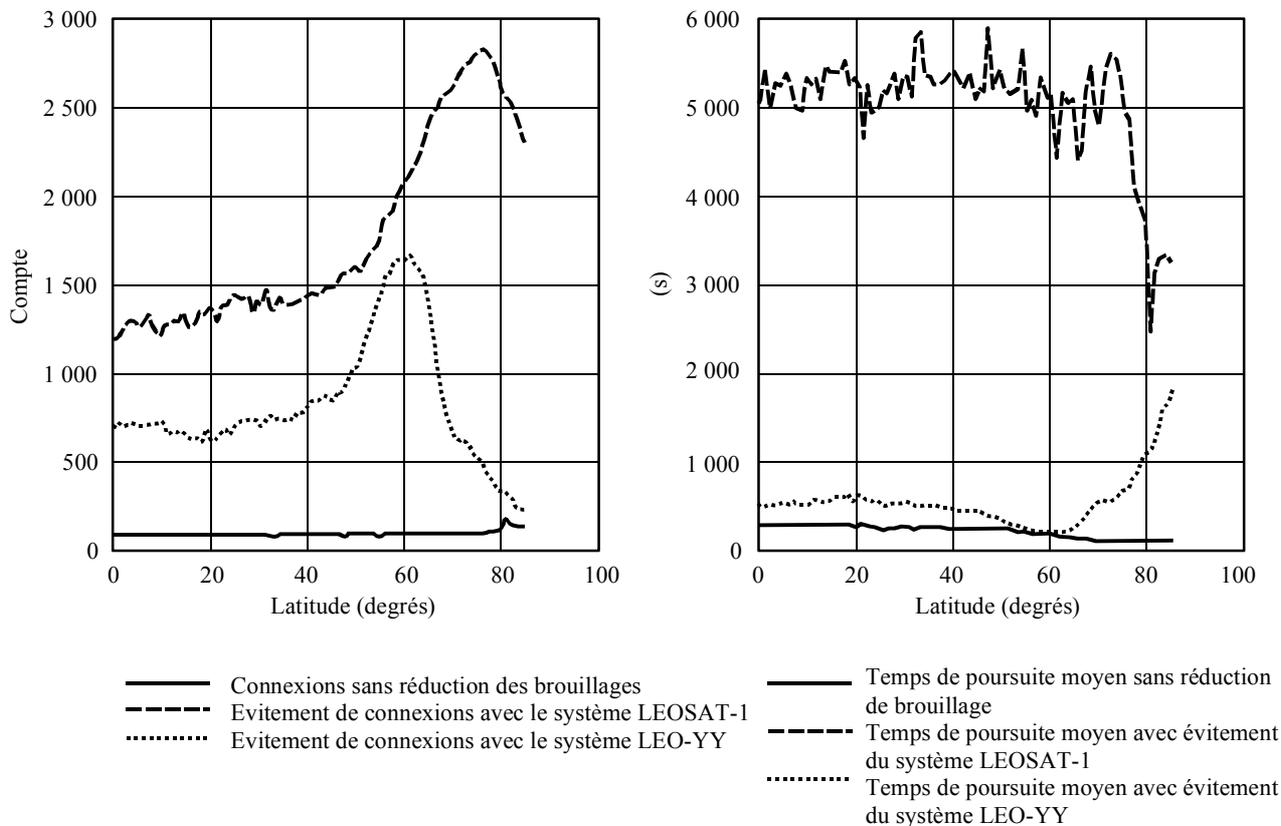


FIGURE 13

Incidences de la réduction des brouillages causés par le système LEO-YY sur les transferts entre satellites et le temps de poursuite moyen d'un satellite relatifs au système USAMEO-1



1526-13

Les Tableaux 10 et 11 montrent les effets de la pondération des statistiques de visibilité par la distribution de population et de PIB (d'après les estimations de 1999).

TABLEAU 10

Pourcentage de la population mondiale bénéficiant d'un niveau de couverture correspondant au centile indiqué, avec évitement du système LEO-YY

Centile	Couverture			Modifications par rapport à la couverture LEOSAT-1		
	1X	2X	3X	1X	2X	3X
100	8,53	0,00	0,00	8,53	0,00	0,00
99	91,86	41,22	0,00	-3,13	41,22	0,00
95	98,79	88,86	0,00	-0,92	8,91	0,00
90	99,34	90,80	50,32	-0,54	-3,01	50,32
80	100,00	97,04	78,26	0,01	-1,97	10,69
50	100,00	99,19	93,82	0,00	-0,75	-4,40

TABLEAU 11

Pourcentage du PIB mondial bénéficiant d'un niveau de couverture correspondant au centile indiqué, avec évitement du système LEO-YY

Centile	Couverture			Modifications par rapport à la couverture LEOSAT-1		
	1X	2X	3X	1X	2X	3X
100	6,64	0,00	0,00	6,64	0,00	0,00
99	79,28	13,49	0,00	-8,78	13,49	0,00
95	97,58	72,33	0,00	-1,79	19,89	0,00
90	98,42	76,55	14,81	-1,41	-7,81	14,81
80	100,00	94,36	49,37	0,01	-3,53	20,42
50	100,00	98,22	84,37	0,00	-1,69	-12,36

3 Exemple de partage avec un système OSG du SFS: Incidences sur le Système P (OSG du SFS) des modifications apportées au système LEOSAT-1

Le texte qui suit illustre, au moyen d'un exemple précis, une application de la méthodologie dans une situation où les émissions sur la même fréquence vers et depuis le satellite du Système P (OSG du SFS) cessent à proximité d'événements en ligne afin de limiter le brouillage mutuel entre les deux systèmes à la tolérance de 10% du temps prescrite dans la Recommandation UIT-R S.1323. D'autres tolérances de brouillage peuvent être utilisées si elles sont jugées nécessaires. Aucune hypothèse n'a été faite au sujet de la manière dont le système du SFS qui effectue la réduction maintiendrait le service pendant l'arrêt des émissions sur la même fréquence. Il est utile d'établir des statistiques relatives au niveau de brouillage correspondant à une augmentation de 10% de l'indisponibilité, étant donné qu'on peut considérer que ce niveau définit le point auquel le brouillage est tolérable en vertu de la Recommandation UIT-R S.1323. Si, dans les deux cas, le brouillage est inférieur à un niveau correspondant à une tolérance acceptable pour une source unique, il n'est pas nécessaire d'évaluer les changements intervenant sur un système non OSG du SFS. Dans cet exemple, l'augmentation de 10% de l'indisponibilité est utilisée pour déterminer le niveau de brouillage causé par une source unique. Toutefois, il est nécessaire de poursuivre les travaux pour déterminer une valeur appropriée pour un tel niveau. Les résultats correspondant à ces hypothèses sont présentés dans le § 3.2.

Dans certains cas, il se peut toutefois que le système brouillé (Système B) estime préférable d'accepter un brouillage plus important de ses propres liaisons tout en continuant à protéger le système modifié (Système A) aux niveaux indiqués dans la Recommandation UIT-R S.1323. Les résultats de ces hypothèses modifiées sont présentés au § 3.3. On notera que, dans cet exemple, les hypothèses sont également applicables au cas de deux systèmes non OSG du SFS si le système effectuant la réduction ne dispose pas de la diversité. On notera aussi qu'il s'agit d'un exemple particulier. Un autre exemple est le cas dans lequel un système non OSG du SFS et un système OSG du SFS ont conclu un accord de coordination et que les deux systèmes envisagent d'utiliser des techniques de réduction pour permettre le partage des mêmes fréquences. Dans ce cas, les stratégies de réduction des deux systèmes sont utilisées dans le calcul des statistiques de qualité de fonctionnement avant et après les modifications proposées.

Les caractéristiques du Système à satellites P sont résumées dans le Tableau 5 de la Recommandation UIT-R S.1328 – Caractéristiques de systèmes à satellites à prendre en compte dans les analyses de partage des fréquences entre systèmes à satellites sur l'orbite des satellites géostationnaires (OSG) et systèmes à satellites non OSG dans le service fixe par satellite (SFS), y compris les liaisons de connexion du service mobile par satellite (SMS). C'est pourquoi on détermine quatre angles d'évitement en fonction de la station terrienne correspondant chacun à l'un des quatre scénarios de brouillage présentés à la Fig. 1.

Pour déterminer les statistiques de qualité de fonctionnement, on prend en considération un certain nombre de stations terriennes dans la zone de service du satellite. Pour chacune d'elles, on calcule le pourcentage de temps pendant lequel les communications entre la station et le satellite peuvent être maintenues. Les statistiques de qualité de fonctionnement sont: le pourcentage de temps pendant lequel la liaison aller-retour entre une station terrienne et un satellite OSG peut fonctionner sans provoquer une augmentation de 10% de l'indisponibilité du système non OSG du SFS ou sans la subir, cette valeur étant moyennée sur l'ensemble des stations terriennes considérées; ce même pourcentage de temps moyen est ensuite pondéré en fonction de la distribution de la population et enfin en fonction du PIB. Des statistiques de durée et de fréquence de la perte de service seraient également utiles.

En général, les systèmes du SFS disposent d'une large gamme de fréquences et il serait peu prudent de supposer qu'un chevauchement simultané sur les liaisons montante et descendante puisse nécessairement se produire. Si un système donné est suffisamment souple en ce qui concerne l'utilisation des fréquences pour qu'un chevauchement soit possible uniquement dans la liaison montante, dans la liaison descendante ou dans les deux, il faudra examiner ces trois cas.

Les paramètres du système LEOSAT-1 et de ses variantes LEO-XX et LEO-YY sont les mêmes que ceux indiqués au § 2.1.

3.1 Paramètres du Système à satellites P et hypothèses

3.1.1 Caractéristiques de base

Le système OSG utilisé dans les simulations était fondé sur le Système à satellites P avec les paramètres de liaison régénérateurs (Ka-3 et Ka-4). Une longitude de 80°O a été choisie pour la position sur l'orbite OSG depuis laquelle le service peut être fourni au continent américain. Les paramètres de base de la modélisation de la simulation sont présentés dans le Tableau 12.

TABLEAU 12

Caractéristiques du Système à satellites P (OSG du SFS)

<i>Paramètres de la constellation</i>	
Nombre de satellites	1
Longitude sur OSG (degrés)	-80
Angle minimal de masquage de l'élévation (degrés)	10°
<i>Paramètres d'émission sur la liaison montante</i>	
Méthode d'accès	AMRT/AMRF
Largeur de bande de la porteuse (MHz)	0,333
Commande de puissance	Non
Gain maximum à l'émission de la station terrienne (dB)	45,1
Diagramme de l'antenne d'émission de station terrienne	Rec. UIT-R S.465
Diamètre de l'antenne d'émission de station terrienne (m)	0,66
Gain maximum de réception du satellite (dB)	47,7
Diagramme de l'antenne de réception du satellite	Rec. UIT-R S.672, Ouverture de faisceau = 0,6°, $L_N = -25$ dB
Faisceau de réception adapté à une taille des cellules constante?	Non
Température de bruit (K)	577,85
Nombre de faisceaux reçus	1
<i>Paramètres d'émission sur la liaison descendante</i>	
Méthode d'accès	MRT/MRF
Largeur de bande de la porteuse (MHz)	115
Commande de puissance	Non
Gain maximum de réception de la station terrienne (dB)	41,6
Diagramme de l'antenne de réception de station terrienne	Rec. UIT-R S.465
Diamètre de l'antenne de réception de station terrienne (m)	0,66
Gain de crête d'émission de satellite (dB)	46,2
Diagramme de l'antenne d'émission du satellite	(même que pour la liaison montante)
p.i.r.e. d'émission du satellite au bord de la zone de couverture (dB)	62,5
Faisceau d'émission adapté à une taille des cellules constante?	Non
Température de bruit (K)	187,45
Nombre de faisceaux émis	1

3.1.2 Hypothèses relatives au bilan de liaison et aux dégradations dues à la pluie

Le bilan de liaison présenté dans le Tableau 13 s'applique au modèle du système OSG.

TABLEAU 13

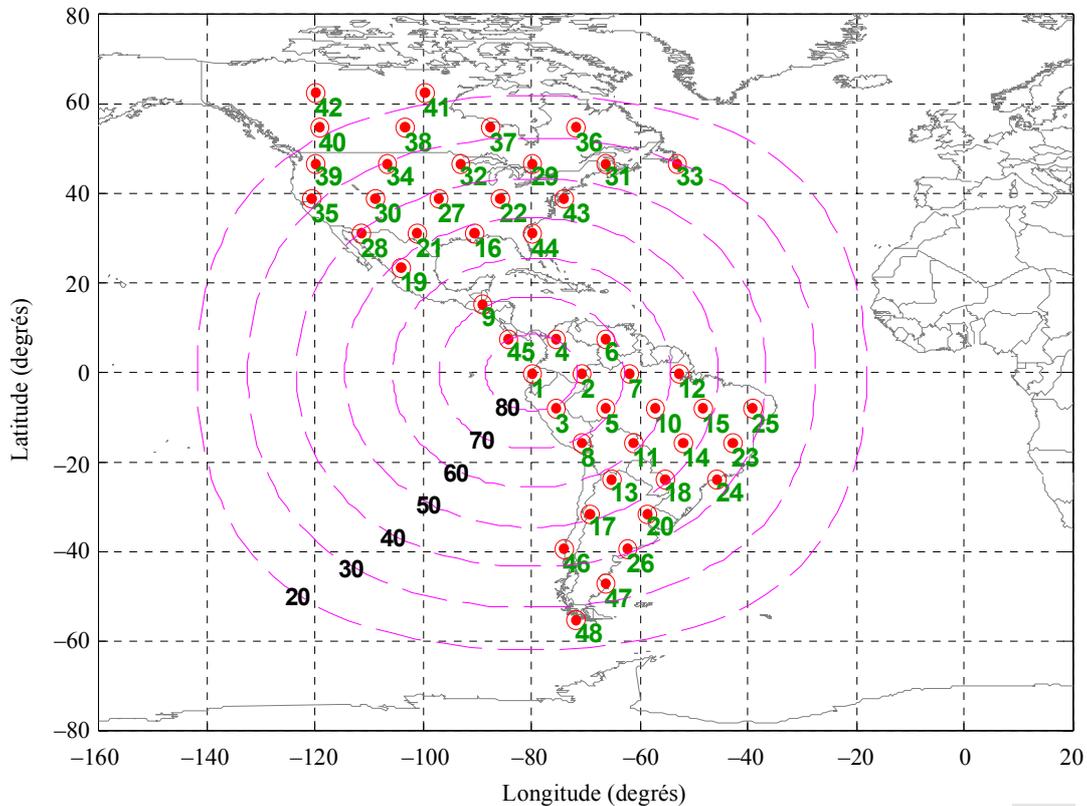
Bilans de liaison du Système à satellites P (OSG du SFS)

Angle d'élévation minimal (degrés)	10	
Distance oblique (km)	40 586	
	<i>Liaison montante</i>	<i>Liaison descendante</i>
Fréquence (GHz)	30	20
Largeur de bande (MHz)	0,33	115
Débit de données (Mbit/s)	0,38	120
Espacement des canaux (MHz)	0,42	140
Réduction/pertes de puissance (dBW)	-3,39	16,30
Gain à l'émission (dB)	45,10	46,20
<i>p.i.r.e. (dBW)</i>	<i>41,71</i>	<i>62,50</i>
Pertes par dépointage à l'émission (dB)	1,00	3,00
Affaiblissement en espace libre (dB)	214,16	210,64
Affaiblissement atmosphérique (dB)	0,23	0,25
<i>Perte totale de propagation (dB)</i>	<i>215,39</i>	<i>213,89</i>
Température du système (K)	577,85	187,45
Gain à la réception (dB)	47,70	41,60
Pertes à la réception (dB)	0,00	1,00
Pertes en bord de faisceau (dB)	3,00	0,00
<i>G/T (dB)</i>	<i>17,08</i>	<i>17,87</i>
<i>Porteuse de réception (C) (dBW)</i>	<i>-128,98</i>	<i>-110,79</i>
<i>N (dBW)</i>	<i>-145,76</i>	<i>-125,26</i>
<i>C/N (dB)</i>	<i>16,78</i>	<i>14,47</i>
Rapport porteuse/bruit nécessaire (dB)	5,80	4,80
Marge requise (dB)	2,50	2,50
Marge pour la pluie/brouillage extérieur (dB)	8,48	7,17

La rubrique «marge requise» du Tableau 13 est supposée se référer à l'autobrouillage et à d'autres dégradations non liées à la pluie ou à du brouillage extérieur. Etant donné la faible variation de la p.i.r.e. entre les valeurs minimale et maximale du Tableau 5 de la Recommandation UIT-R S.1328, on n'a prévu aucune commande de puissance, que ce soit pour la liaison montante ou pour la liaison descendante. Ces variations sont censées tenir compte des erreurs de pointage et des affaiblissements au bord du faisceau. La liaison montante et la liaison descendante utilisant des puissances d'émission constantes, tout affaiblissement dû à la pluie dégradera la liaison.

Le secteur terrien du système OSG a été modélisé au moyen de stations terriennes uniformément réparties sur tout le territoire du continent américain au-dessus de 10° d'élévation. L'espacement de 1 000 km choisi a donné lieu à 48 emplacements de station terrienne, qui sont montrés dans la Fig. 14 avec les contours d'angle d'élévation par rapport au satellite OSG.

FIGURE 14
Distribution des stations terriennes du Système à satellites P utilisée pour les simulations



1526-14

Etant donné que l'angle d'élévation et les caractéristiques de pluie sont différents pour chacun des 48 emplacements, un modèle différent de dégradation due à la pluie a été pris comme hypothèse pour chacun des emplacements (les fonctions de densité de probabilité de dégradation due à la pluie et au brouillage s'appliquant à chaque simulation sont combinées pour déterminer si le niveau de brouillage est acceptable ou non). Pour chaque emplacement, l'angle d'élévation, l'affaiblissement dû à la pluie, l'affaiblissement atmosphérique et la température de l'antenne ont été ajustés pour déterminer la marge de liaison résultante.

Le Tableau 14 récapitule les hypothèses qui ont servi à produire la fonction de densité de probabilité de la dégradation due à la pluie pour chacun des 48 emplacements. Le paramètre, α , qui représente le pourcentage d'augmentation de bruit dû à l'autobrouillage, $I_S/(N + I_S)$, et qui est utilisé pour mettre en relation la dégradation due à la pluie et l'affaiblissement dû à la pluie à partir du modèle de pluie indiqué, est égal à zéro dans tous les cas. On a utilisé, pour cette analyse, le modèle de pluie de la Recommandation UIT-R P.618-6.

TABLEAU 14

Marges de liaison et évanouissement dû à la pluie sur la liaison descendante

Identification de station terrienne	Evanouissement dû à la pluie sur la liaison montante et marge (dB)	Marge de liaison descendante (dB)	Evanouissement dû à la pluie sur la liaison descendante (dB)
1	9,57	11,59	8,24
2	9,54	11,55	8,20
3	9,54	11,55	8,20
4	9,54	11,55	8,20
5	9,49	11,47	8,14
6	9,49	11,47	8,14
7	9,46	11,43	8,11
8	9,46	11,42	8,10
9	9,46	11,42	8,10
10	9,39	11,30	8,01
11	9,38	11,29	8,00
12	9,33	11,21	7,94
13	9,33	11,20	7,93
14	9,25	11,07	7,83
15	9,23	11,04	7,81
16	9,22	11,02	7,80
17	9,22	11,02	7,80
18	9,22	11,01	7,78
19	9,22	11,01	7,78
20	9,13	10,85	7,67
21	9,13	10,85	7,67
22	9,07	10,75	7,59
23	9,07	10,74	7,58
24	9,05	10,70	7,55
25	9,03	10,67	7,53
26	9,00	10,61	7,49
27	9,00	10,61	7,49

TABLEAU 14 (*fin*)

Identification de station terrienne	Evanouissement dû à la pluie sur la liaison montante et marge (dB)	Marge de liaison descendante (dB)	Evanouissement dû à la pluie sur la liaison descendante (dB)
28	8,97	10,55	7,44
29	8,87	10,34	7,29
30	8,86	10,32	7,28
31	8,82	10,25	7,23
32	8,82	10,25	7,23
33	8,69	9,95	7,01
34	8,69	9,95	7,01
35	8,63	9,82	6,92
36	8,58	9,71	6,85
37	8,58	9,71	6,85
38	8,46	9,41	6,64
39	8,44	9,36	6,61
40	8,18	8,67	6,14
41	8,12	8,50	6,03
42	7,69	7,32	5,24
43	9,07	10,75	7,59
44	9,26	11,08	7,84
45	9,54	11,55	8,20
46	9,07	10,75	7,59
47	8,82	10,25	7,23
48	8,58	9,71	6,85

3.2 Résultats des simulations basés sur un brouillage contraignant pour les quatre cas de niveau de brouillage de la Recommandation UIT-R S.1323

Des simulations individuelles ont été faites pour le Système à satellites P et chacun des systèmes suivants:

- LEOSAT-1 (288 satellites, constellation polaire, angle d'élévation minimal de 40°).
- LEO-XX (128 satellites, constellation polaire, angle d'élévation minimal de 40°).
- LEO-YY (120 satellites, constellation Walker Delta, angle d'élévation minimal de 25°).

Dans chaque ensemble de simulations, les données ont été établies pour les quatre cas de brouillage, chaque cas étant défini dans le Tableau 15.

TABLEAU 15

Définition des cas de brouillage

Cas	Sens de la liaison	Rôle du Système à satellites P
1	Liaison montante	Brouilleur
2	Liaison descendante	Brouilleur
3	Liaison montante	Signal utile
4	Liaison descendante	Signal utile

D'une manière analogue à ce qui a été décrit dans les § 2.3.1, 2.3.2 et 2.3.3, les simulations ont initialement été effectuées pour déterminer l'angle d'évitement nécessaire pour respecter les critères de la Recommandation UIT-R S.1323, en supposant qu'une interruption de 10% est permise pour le brouillage extérieur attribué à une source unique. Dans le présent paragraphe, la disponibilité correspondant au système atténuant le brouillage est définie par rapport au service survenant à des angles supérieurs à l'angle d'évitement calculé. Toutefois, si le Système P n'a pas d'autre moyen de fournir le service pendant des événements en ligne, le temps d'interruption total du Système P contiendrait également les périodes de temps correspondant aux angles inférieurs à l'angle d'évitement calculé. Ces simulations ont été faites pendant 2 jours à intervalles de 1 s (soit 172 800 itérations). Tous les angles d'évitement mentionnés au § 3 le sont en fonction de la station terrienne.

Les simulations ont fait apparaître que l'angle d'évitement déterminant est associé au cas 1 (brouillage causé par une station terrienne OSG à un satellite non OSG) ou au cas 4 (brouillage causé par des satellites non OSG à une station terrienne OSG). Le Tableau 16 présente les angles d'évitement pour les cas 1 et 4 correspondant à chacune des 48 stations terriennes du système OSG et chacun des trois systèmes non OSG pris en considération. Pour toute station terrienne et système non OSG du SFS, l'angle d'évitement déterminant est en caractères gras.

TABLEAU 16

Angles d'évitement en fonction des stations terriennes

	<i>Cas 1</i>	<i>Cas 4</i>	<i>Cas 1</i>	<i>Cas 4</i>	<i>Cas 1</i>	<i>Cas 4</i>
Identification de station terrienne	T288	T288	T120	T120	T128	T128
1	6,6	5,1	5,2	4,2	4,6	5,5
2	6,6	5,2	5,2	4,2	4,6	5,6
3	6,6	5,6	5,2	4,2	4,6	5,9
4	6,6	6,3	5,2	4,3	4,6	6,6
5	6,6	5,7	5,2	4,3	4,6	5,9
6	6,6	5,7	5,2	4,3	4,6	6,0
7	6,6	5,5	5,2	4,2	4,6	5,7
8	6,7	10,5	5,4	5,7	4,7	10,9
9	6,6	6,3	5,3	4,2	4,6	6,5

TABLEAU 16 (fin)

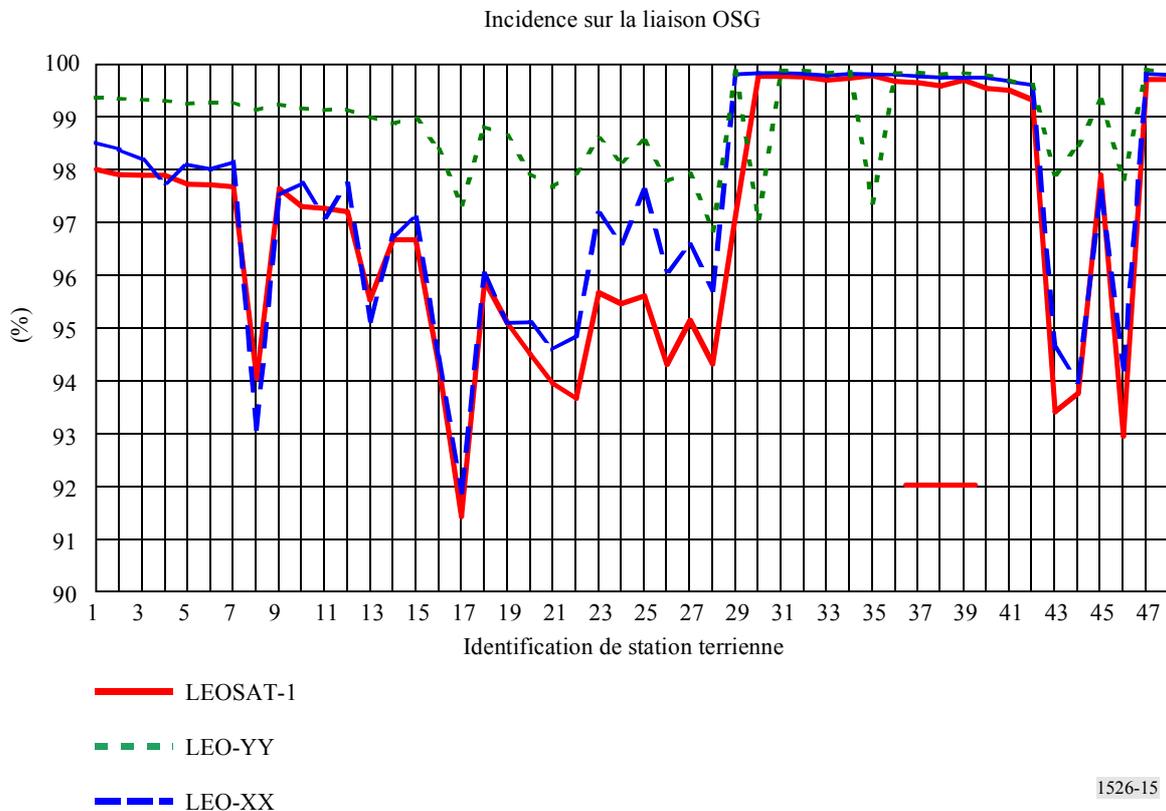
	<i>Cas 1</i>	<i>Cas 4</i>	<i>Cas 1</i>	<i>Cas 4</i>	<i>Cas 1</i>	<i>Cas 4</i>
Identification de station terrienne	T288	T288	T120	T120	T128	T128
10	6,6	5,9	5,1	4,2	4,6	6,0
11	6,6	6,6	5,3	4,3	4,7	6,7
12	6,6	5,7	5,2	4,2	4,6	5,8
13	6,7	8,1	5,4	5,3	4,7	8,3
14	6,6	6,6	5,3	4,6	4,7	6,6
15	6,6	6,1	5,0	4,2	4,5	6,1
16	6,6	8,3	5,3	6,2	4,6	8,2
17	6,7	10,1	5,4	7,8	4,7	9,9
18	6,6	7,1	5,4	5,4	4,6	7,0
19	6,6	7,8	5,4	5,8	4,7	7,8
20	6,6	7,6	5,4	6,5	4,6	7,3
21	6,6	7,9	5,4	6,9	4,7	7,6
22	0,0	7,5	5,4	6,0	0,0	7,1
23	6,4	5,6	5,3	5,2	3,4	5,5
24	6,5	6,0	5,3	6,0	3,5	5,9
25	6,1	5,0	5,3	5,0	0,0	4,9
26	0,0	6,8	5,4	5,9	0,0	6,0
27	0,0	6,3	5,4	5,7	0,0	5,5
28	6,5	6,8	5,4	7,2	0,0	6,2
29	0,0	4,2	0,0	1,2	0,0	1,3
30	0,0	1,3	0,0	6,1	0,0	1,2
31	0,0	1,2	0,0	1,2	0,0	1,1
32	0,0	1,2	0,0	1,2	0,0	1,1
33	0,0	1,2	0,0	1,2	0,0	1,1
34	0,0	1,2	0,0	1,2	0,0	1,1
35	0,0	1,1	0,0	5,0	0,0	1,1
36	0,0	1,2	0,0	1,1	0,0	1,1
37	0,0	1,2	0,0	1,1	0,0	1,1
38	0,0	1,2	0,0	1,1	0,0	1,1
39	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	1,1
40	0,0	1,1	0,0	1,0	0,0	1,0
41	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	1,1
42	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	1,1
43	0,0	7,7	5,4	6,1	0,0	7,3
44	6,6	8,8	5,3	6,1	4,6	8,7
45	6,6	6,5	5,1	4,3	4,6	6,9
46	0,0	7,9	5,4	6,2	0,0	7,5
47	0,0	1,3	0,0	1,2	0,0	1,2
48	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	1,1

Lorsque les angles d'évitement en fonction de la station terrienne applicables à chaque cas ont été établis, la simulation se déroule pendant cinq jours à intervalles de 1 s (soit 432 000 itérations) pour calculer les pourcentages de temps pendant lesquels l'angle θ_T (Fig. 1, cas 1) ou l'angle θ_R (Fig. 1, cas 4), selon le cas, est plus grand que l'angle d'évitement nécessaire. Sur la Fig. 1, le Système A est le système non OSG du SFS et le Système B est le système OSG.

Ces pourcentages de temps sont représentés en fonction du numéro d'identification de la station terrienne (1 à 48) sur la Fig. 15 et en fonction de l'angle d'élévation à la station terrienne OSG considérée par rapport au satellite OSG, sur la Fig. 16.

FIGURE 15

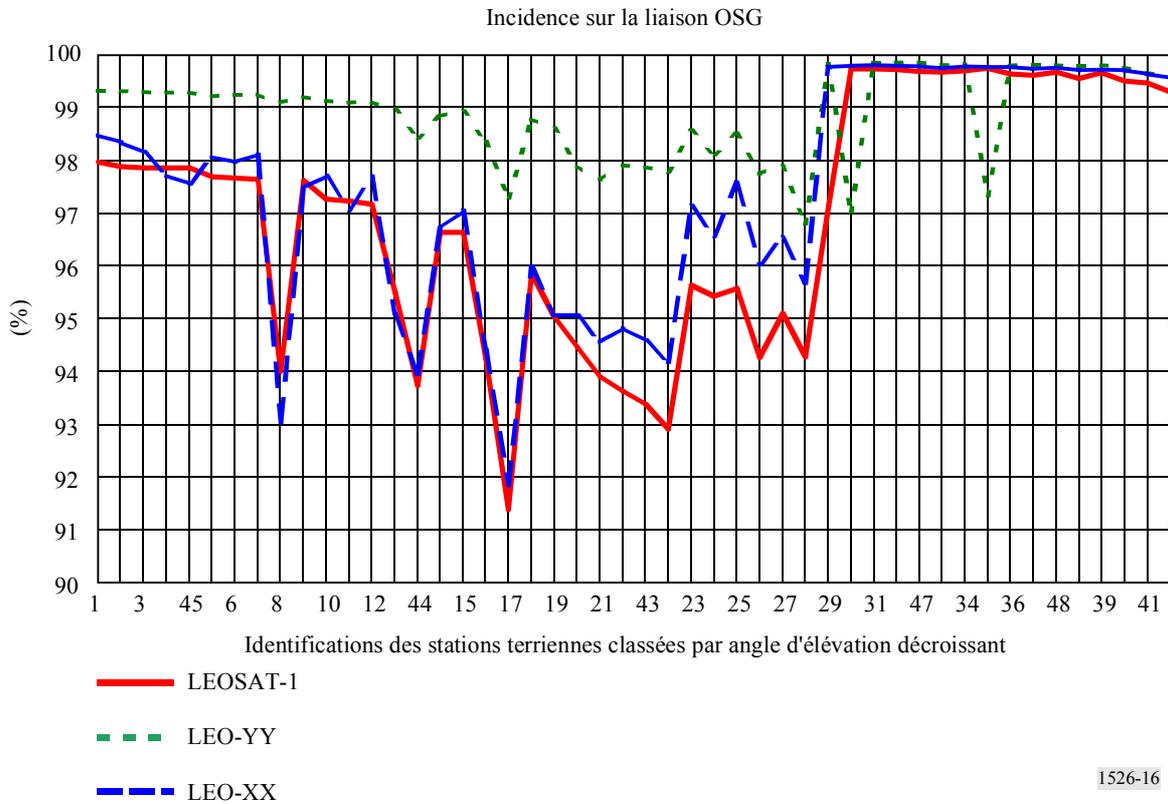
Pourcentage de temps pendant lequel la liaison OSG vers ou depuis une station terrienne peut fonctionner sans causer au système non OSG du SFS un brouillage d'un niveau donné ou sans subir un tel brouillage (en fonction de l'identification de la station terrienne OSG)



Les pourcentages de temps présentés sur la Fig. 15 (ou la Fig. 16) ont été moyennés sur les 48 stations terriennes, puis sur ces mêmes stations terriennes pondérées par la population et ensuite par le PIB. Ces trois pourcentages de temps différents sont présentés dans le Tableau 17 pour chacun des trois systèmes non OSG du SFS considérés. On notera, dans cet exemple, la variation importante au niveau de l'indisponibilité résultante pour un Système P (OSG du SFS), soit de 0,2% à 8,6%, selon l'emplacement de la station terrienne. Le fait de moyennner de telles différences de pourcentage d'indisponibilité sur l'ensemble des stations terriennes ne fait pas clairement apparaître ces différences. Il pourrait aussi être utile de calculer, en plus de la moyenne, la variance de ces valeurs d'indisponibilité. Toutefois, en dernière analyse, il faudrait que les parties concernées (c'est-à-dire les Systèmes A et B) décident, dans un accord de coordination, des détails de la méthode à utiliser, plus précisément des hypothèses de calcul et de simulation à utiliser dans l'analyse et l'application de toute technique d'établissement de la moyenne pondérée.

FIGURE 16

Pourcentage de temps pendant lequel la liaison OSG vers ou depuis une station terrienne peut fonctionner sans causer au système non OSG du SFS un brouillage d'un niveau donné ou sans subir un tel brouillage (en fonction de l'identification de la station terrienne OSG)



1526-16

TABLEAU 17

Pourcentages moyens de temps pendant lequel des liaisons OSG vers ou depuis des stations terriennes réparties dans la zone de service OSG peuvent fonctionner sans causer au système non OSG du SFS un brouillage de niveau donné ou sans subir un tel brouillage

	LEOSAT-1	LEO-XX	LEO-YY
Moyenne (%)	97,1	98,9	97,5
Moyenne (pondérée par la population) (%)	95,8	98,5	96,4
Moyenne (pondérée par le PIB) (%)	95,4	98,2	96,2

3.3 Résultats de simulations basés sur le brouillage contraignant seulement dans les cas 1 et 2 des niveaux de la Recommandation UIT-R S.1323

Au § 3.2, on a supposé que le Système P (OSG du SFS) protégerait, dans les quatre cas considérés, jusqu'à un niveau de brouillage donné. Toutefois, si le Système P (OSG du SFS) (ou un Système non OSG du SFS réduisant le brouillage) ne dispose pas d'autres moyens possibles de poursuivre le

service pendant l'arrêt des émissions sur la même fréquence, la disponibilité des liaisons serait plus grande s'il acceptait davantage de brouillage dans ses propres liaisons plutôt que d'interrompre celles-ci. Dans le cas contraignant, le Système P (OSG du SFS) pourrait décider de faire fonctionner ses liaisons descendantes pendant tous les événements en ligne, en utilisant efficacement un angle d'évitement nul pour le cas de brouillage 4. Dans cette situation, le brouillage et la dégradation due à la pluie ont un effet combiné sur la disponibilité de la liaison descendante du Système P (OSG du SFS). Pour évaluer l'effet sur le Système P des modifications fictives apportées au système LEOSAT-1 dans cette situation, la statistique de qualité de fonctionnement pertinente est la disponibilité résultante de la liaison avant et après ces modifications. Bien entendu, dans les cas de brouillage 1 et 2, la protection resterait nécessaire, comme indiqué au § 3.2.

Dans l'exemple traité au § 3.2, aucun angle d'évitement n'était requis pour la protection dans le cas 2 ou 3 car le brouillage n'entraînait pas une augmentation supérieure à 10% de l'indisponibilité de chacun des systèmes considérés. Dans l'ensemble, on pourrait avoir des angles d'évitement pour les quatre cas. Des simulations utilisant des angles d'évitement par rapport à la station terrienne obtenus à partir du cas 1 de protection de la liaison montante ont été effectuées pendant 5 jours à intervalles de 1 s (soit 432 000 itérations) pour calculer le pourcentage de temps pendant lequel l'angle θ_T (Fig. 1, cas 1) est plus grand que l'angle d'évitement requis.

Ces pourcentages de temps sont présentés sur la Fig. 17 en fonction du numéro d'identification des stations terriennes (1 à 48) et sur la Fig. 18 en fonction de l'angle d'élévation de la station terrienne OSG considérée par rapport au satellite OSG.

FIGURE 17

Pourcentage de temps pendant lequel des liaisons OSG d'une station terrienne peuvent fonctionner sans causer au système non OSG du SFS ou subir un brouillage de niveau donné ou sans subir un tel brouillage (en fonction de l'identification de la station terrienne OSG)

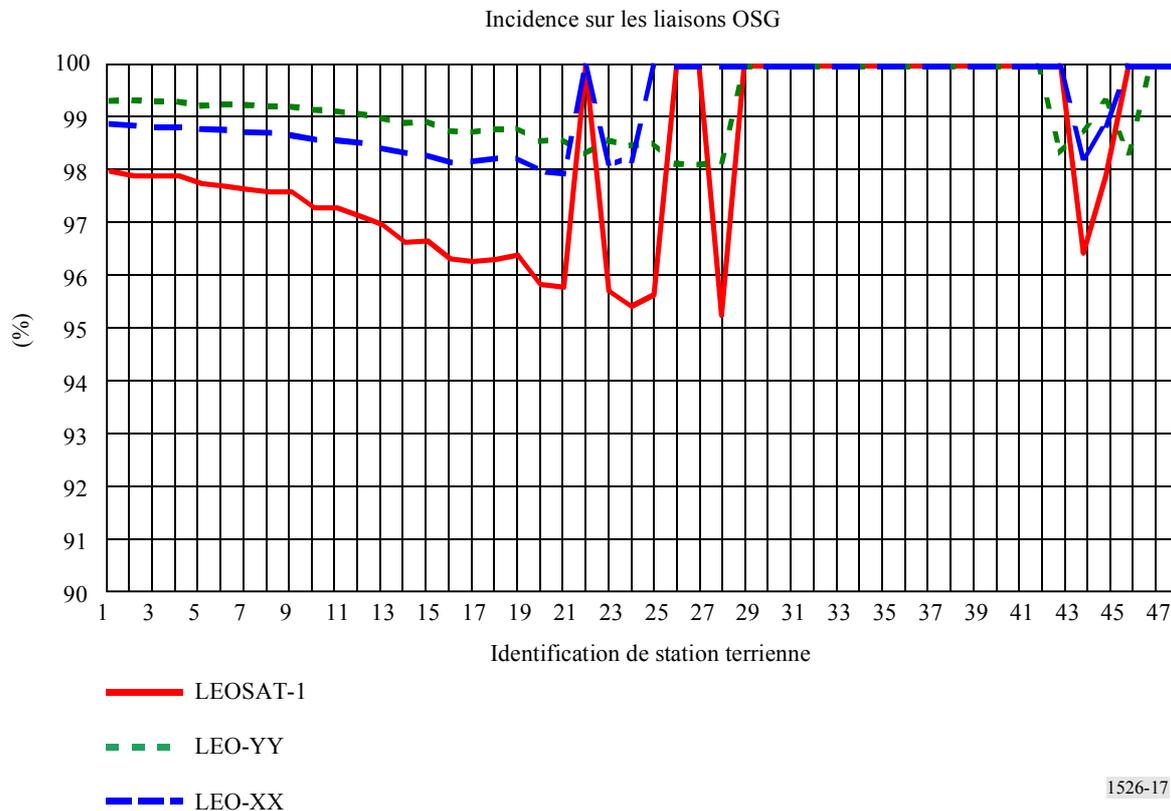
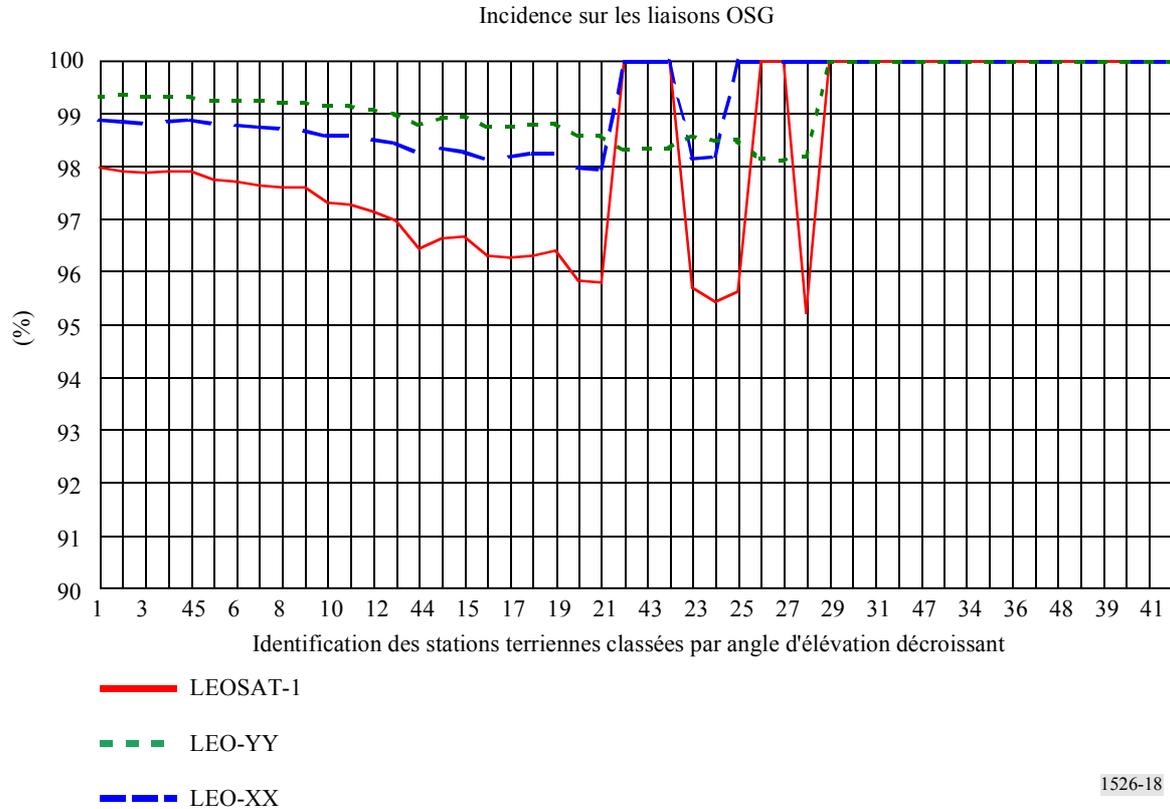


FIGURE 18

Pourcentage de temps pendant lequel des liaisons OSG d'une station terrienne peuvent fonctionner sans causer au système non OSG du SFS un brouillage de niveau donné ou sans subir un tel brouillage (en fonction de l'angle d'élévation de la station terrienne OSG)



Les pourcentages de temps présentés sur la Fig. 17 (ou Fig. 18) ont été moyennés sur les 48 stations terriennes, puis sur ces mêmes stations terriennes pondérées par la population et ensuite par le PIB. Ces trois pourcentages de temps différents sont présentés dans le Tableau 18 pour chacun des trois systèmes non OSG du SFS considérés.

TABLEAU 18

Pourcentages moyens de temps pendant lequel des liaisons OSG depuis des stations terriennes réparties dans la zone de service OSG peuvent fonctionner sans causer au système non OSG du SFS un brouillage de niveau donné

	LEOSAT-1	LEO-XX	LEO-YY
Moyenne (%)	98,3	99,3	99,3
Moyenne (pondérée par la population) (%)	97,7	98,9	99,1
Moyenne (pondérée par le PIB) (%)	98,5	98,9	99,4

Des simulations analogues ont été faites en partant de l'hypothèse qu'aucun angle d'évitement n'était utilisé pour protéger la liaison descendante OSG du SFS. La disponibilité résultante de la liaison OSG descendante en présence de brouillage et de pluie est alors exprimée en pourcentage de temps pour chaque station terrienne OSG, en fonction de l'identification de la station terrienne dans la Fig. 19 et en fonction de l'angle d'élévation de la station terrienne considérée par rapport au satellite OSG dans la Fig. 20.

FIGURE 19

Pourcentage de temps de disponibilité de la liaison OSG descendante en présence de pluie et de brouillage produit par le système non OSG du SFS (en fonction de l'identification de la station terrienne OSG)

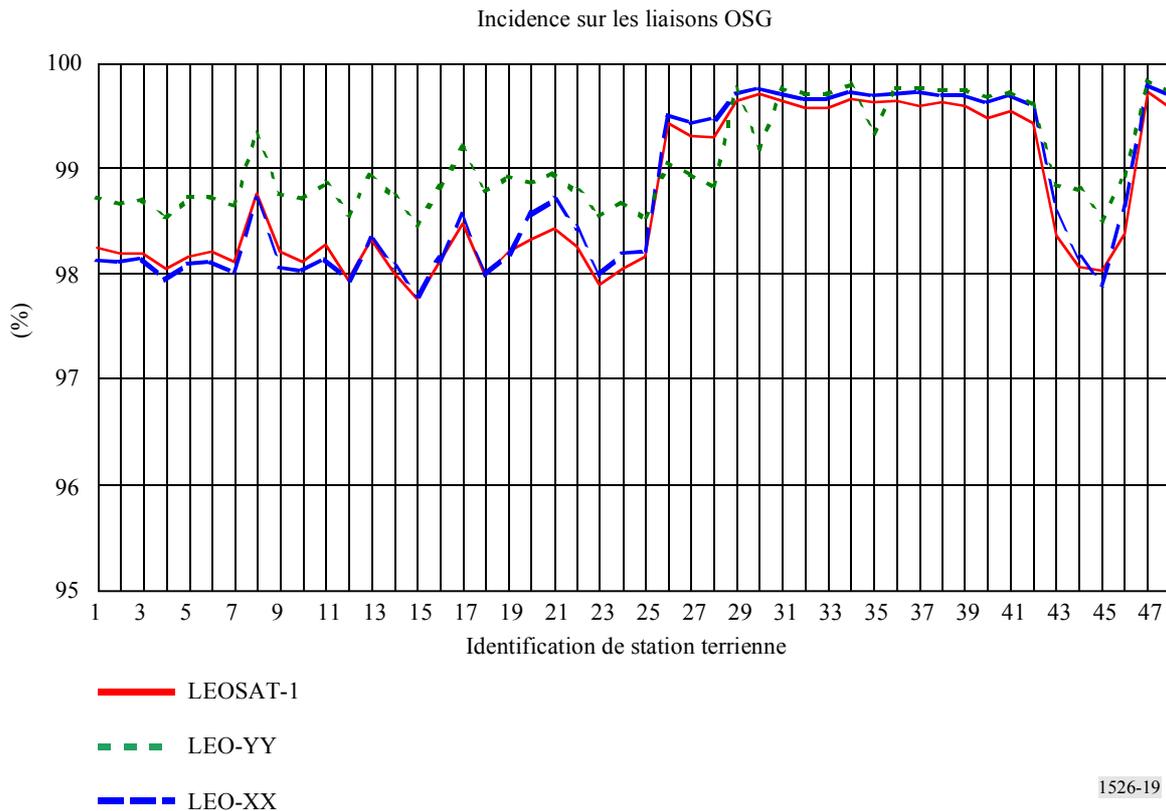
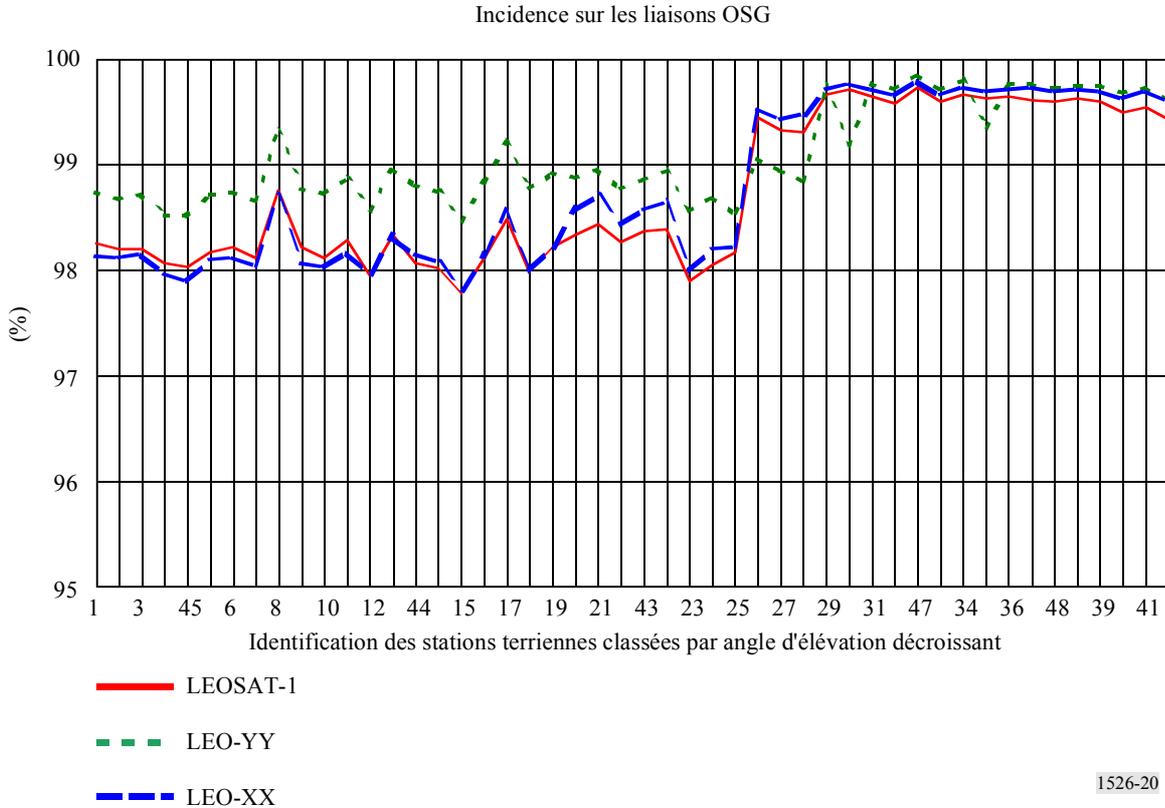


FIGURE 20

Pourcentage de temps de disponibilité de la liaison OSG descendante en présence de pluie et de brouillage produit par le système non OSG du SFS (en fonction de l'angle d'élévation de la station terrienne OSG)



Les pourcentages de temps présentés sur la Fig. 19 (ou la Fig. 20) ont été moyennés sur les 48 stations terriennes, puis sur ces mêmes stations terriennes pondérées par la population et ensuite par le PIB. Ces trois pourcentages de temps différents sont présentés dans le Tableau 19 pour chacun des trois systèmes non OSG du SFS considérés.

TABLEAU 19

Pourcentages moyens de temps de disponibilité de liaison OSG descendante pour des stations terriennes réparties dans la zone de service OSG fonctionnant avec le système non OSG du SFS pendant tous les événements de brouillage en ligne

	LEOSAT-1	LEO-XX	LEO-YY
Moyenne (%)	98,7	99,1	98,8
Moyenne (pondérée par la population) (%)	98,4	98,9	98,5
Moyenne (pondérée par le PIB) (%)	98,6	99,0	98,8

ANNEXE 2

Modélisation de la dégradation due à la pluie pour les convolutions**1 Introduction**

NOTE 1 – Tous les symboles de la présente Annexe représentent des valeurs numériques et non des valeurs en décibel.

On a utilisé la Recommandation UIT-R S.1323 (méthode A) dans l'exemple présenté dans l'Annexe 1 pour évaluer si les brouillages externes causés par un système donné sont acceptables ou non par un autre système. Il est nécessaire pour cela de convoluer la fonction de densité de probabilité de la dégradation due à la pluie, X avec celle de la dégradation due aux brouillages, Y , afin de générer une fonction de densité de probabilité de la dégradation totale, Z . Supposons que l'on autorise un maximum de 10% de la dégradation totale pour les brouillages externes (ce qui signifie que tous les brouillages externes sont attribués à un seul système) et qu'une interruption de liaison se produise pour une valeur seuil spécifiée de la dégradation, D_{th} . Alors, 90% de la probabilité de la dégradation totale supérieure à D_{th} doit être inférieure ou égale à la probabilité de dégradation due à la pluie supérieure à D_{th} , c'est-à-dire:

$$P(Z \geq D_{th}) \leq P(X \geq D_{th})/0,9$$

Pour générer une fonction de densité de probabilité de dégradation due à la pluie, on utilise un des modèles de pluie normalisés, tels que ceux présentés dans la Recommandation UIT-R P.618, afin de déterminer la probabilité d'affaiblissements consécutifs aux évanouissements dus à la pluie L_R dans une gamme de fréquences quelconque. La relation entre l'affaiblissement dû à la pluie, L_R , et la dégradation due à la pluie, X , dépend de la liaison que l'on évalue. Il est également possible d'utiliser d'autres méthodes, telles que la méthode D' de la Recommandation UIT-R S.1323, pour estimer les brouillages causés par un système non OSD du SFS à un autre système.

2 Relation entre les évanouissements dus à la pluie et la dégradation due à la pluie sur la liaison descendante

La Recommandation UIT-R S.1323 fournit la relation ci-après entre X et L_R pour une liaison descendante générique, ce qui suppose que les signaux brouilleurs subissent par temps de pluie les mêmes évanouissements que la porteuse:

$$X = \frac{(1-\alpha) \left(L_R + \frac{(T_0 - T_B)}{T_{SYS}} \cdot \frac{(L_R - 1)}{L_A} \right) + \frac{\alpha}{L_A}}{(1-\alpha) + \frac{\alpha}{L_A}} \quad (1)$$

où

α : fraction du bruit total sur la liaison descendante par ciel clair, due aux brouillages (c'est-à-dire, $\alpha = I/(N + I)$)

L_R : affaiblissement dû à la pluie (fraction numérique)

T_0 : température d'absorption moyenne (valeur typique = 274,8 K)

T_B : température de fond (2,76 K pour le ciel)

T_{SYS} : température de bruit thermique sur la liaison descendante

L_A : affaiblissement dû à l'absorption dans l'atmosphère (fraction numérique).

3 Relation entre les évanouissements dus à la pluie et la dégradation due à la pluie sur la liaison montante

Dans le cas d'une liaison montante, pour laquelle les signaux brouilleurs sont susceptibles ou non de subir des évanouissements dus à la pluie, il est nécessaire de disposer d'une expression plus générale relative aux valeurs L_R et X . Les calculs suivants permettent de déterminer des expressions générales du rapport $(C/(N+I))_{faded}$ et de la dégradation due à la pluie X .

Soit $\beta = \left(\frac{I}{N}\right)_{clear-sky}$ $\delta =$ fraction de I sans évanouissements (not faded)

$$\left(\frac{C}{N+I}\right)_{unfaded} = \frac{C}{N+\beta N} = \frac{C}{N(1+\beta)} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{C}{N+I}\right)_{faded} &= \frac{C/L_R}{N+\delta I+(1-\delta)I/L_R} = \frac{C}{L_R \cdot N(1+\delta I/N+(1-\delta)(I/N)/L_R)} \cdot \frac{1+\beta}{1+\beta} \\ &= \frac{1+\beta}{L_R(1+\delta\beta+(1-\delta)\beta/L_R)} \cdot \frac{C}{N(1+\beta)} \end{aligned} \quad (3)$$

$$X = \frac{(C/N+1)_{unfaded}}{(C/N+1)_{faded}} = \frac{L_R(1+\delta\beta+(1-\delta)\beta/L_R)}{1+\beta} = \frac{L_R(1+\delta\beta)+(1-\delta)\beta}{1+\beta} \quad (4)$$

Puisque

$$\beta = \frac{I}{N} = \frac{I/(I+N)}{(N+I-I)/(I+N)} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (5)$$

on peut encore exprimer X de la façon suivante:

$$X = L_R((1-\alpha)+\delta\alpha) + (1-\delta)\alpha \quad (6)$$

L'expression suivante permet de déterminer δ , fraction de I sans évanouissements, en fonction de valeurs données de C/I avec ou sans évanouissements:

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{faded} = \frac{C/L_R}{\delta I+(1-\delta)I/L_R} = \frac{1}{L_R \cdot \delta+(1-\delta)} \cdot \left(\frac{C}{I}\right)_{unfaded} \quad (7)$$

d'où:

$$\delta = \frac{1}{L_R-1} \cdot \left(\frac{(C/I)_{unfaded}}{(C/I)_{faded}} - 1 \right) \quad (8)$$

Si C/I est identique dans les conditions avec ou sans évanouissements (ce qui signifie que I subit également des évanouissements sur la porteuse, donc $\delta = 0$), l'expression de X ci-dessus se simplifie de la manière suivante:

$$X = L_R(1-\alpha) + \alpha \quad (9)$$

Si I ne subit absolument aucun évanouissement (c'est-à-dire $\delta = 1$), l'expression de X devient simplement:

$$X = L_R \quad (10)$$

4 Modélisation de la commande de puissance

Lorsque l'on n'utilise pas de commande de puissance sur une liaison donnée, la dégradation sur la liaison se produit pour tout évanouissement dû à la pluie, ce qui permet d'utiliser directement la fonction de densité de probabilité de X établie à partir de l'équation idoine ci-dessus et dépendant de L_R .

Lorsque la commande de puissance est utilisée pour compenser les évanouissements dus à la pluie, aucune dégradation de la liaison ne se produit avant que la gamme dynamique de la fonction de commande de puissance ne soit atteinte. Dans ce cas, il faut obtenir une fonction de densité de probabilité modifiée applicable à la dégradation due à la pluie X' (avec commande de puissance), fondée sur la fonction de densité de probabilité de dégradation due à la pluie X (sans commande de puissance). La fonction de densité de probabilité de X' doit avoir une impulsion à 0 dB de dégradation indiquant une probabilité d'évanouissements dus à la pluie inférieure ou égale à la valeur maximale d'évanouissements dus à la pluie compensée par la fonction de commande de puissance. Si F est la valeur maximale d'évanouissements dus à la pluie sans dégradation, et M la valeur de X pour cette valeur d'évanouissements dus à la pluie, alors:

$$P(X' = 0) = P(L_R \leq F) = P(X \leq M) \quad (11)$$

$$P(X' \leq i) = P(X \leq i + M) \quad \text{pour } X > M (i > 0) \quad (12)$$
